

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

TERO LAUKKANEN

AUTOMAATIO- JA INSTRUMENTOINTIRATKAISUJEN VAIKUTUS NYKYAIKAISTEN TYÖKONEIDEN TUOTANNON KUSTANNUKSIIN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Petri Suomala
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone-, ja materiaali-
tekniikan tiedekuntaneuvoston ko-
kouksessa 5.lokakuuta 2011

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

LAUKKANEN, TERO: AUTOMAATIO- JA INSTRUMENTOINTIRATKAISUJEN VAIKUTUS NYKYAIKAISTEN TYÖKONEIDEN TUOTANNON KUSTANNUKSIIN

Diplomityö, 124 sivua, 4 liitesivua

Marraskuu 2011

Pääaine: Teollisuustalous

Tarkastaja: professori Petri Suomala

Avainsanat: CANopen, ABC, Activity-Based Costing, TQM, Laatukustannukset.

Tämä tutkimus käsittelee modernien työkonoiden tuotannon laatuongelmia. Työ on saanut alkunsa laitteiden ohjausjärjestelmän integrointialustan (CANopen) vastaisesta kriitikistä. Kriitikki on perustunut oletukseen uuden teknologian korkeasta hinnasta sekä monimutkaisuudesta. Osittain näiden vuoksi ohjausjärjestelmää ei ole suunniteltu CANopen hallintaprosessin mukaisesti, mikä näkyy esimerkiksi suurena analogiaantureiden ja -toimilaitteiden määränä. *Yksi työn päätavoitteista on tutkia kuinka tarkasteltavien laitteiden automaatio- ja instrumentointiratkaisut vaikuttavat laitteiden tuotannon laatuun.*

Raha on yleisesti hyväksi todettu laadun mittari. Niinpä työssä lasketaan tuotannossa esiintyvien laatupuutteiden kustannusvaikutuksia. *Tutkimus vastaa kysymykseen siitä, mikä aiheuttaa laajimmat ongelmat tarkasteltavien laitteiden tuotannossa ja kuinka paljon nämä ongelmat maksavat vuositasolla.* Tähän tutkimusongelmaan on tarkoitus vastata kustannuslaskentaa käsittelevien teoriaosuuksien pohjalta. Ensimmäinen näistä käsittelee toimintoperusteista kustannuslaskentaa ja jälkimmäiset osiot yleistä laadun teoriaa sekä ennen kaikkea laatukustannusten laskentaa.

Tutkimusongelman selvittäminen edellytti kattavaa laatuvalahteiden keräystä tuotannosta. Tärkeimpinä tiedonkeräyskanavina toimivat yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä, kirjalliset laaturaportit, tuotannon seurannat, haastattelut sekä muut tietokannat. Tuotanto-ongelmien juurisyiden selvittämiseksi kerätyt laatuvalahteet käsiteltiin sähköasentajien ja -tarkastajien sekä tuotannon toimihenkilöiden kanssa yhteensä kuudessa työpajassa. Jokainen kerätyistä laatuvalahteista analysoitiin Toyotalta tutun ”5 × miksi” -menetelmän avulla.

Juurisyyanalyysin perusteella tuotannosta tunnistettiin useita eri ongelma-alueita. Suurin näistä oli runsas erilliskaapeloinnin käyttö, jonka osuus työhön lasketuista vuosittaisista laatukustannuksista oli yhteensä noin 61 %. Lisäksi ongelmia aiheutti dokumentoinnin sekä komponenttien laaduttomuus. Juurisyyanalyysin perusteella huomattiin, että *kaikki tuotannon ongelmat ovat peräisin ylemmän tason toimintatapaongelmista*, joita olivat huonot tekniset valinnat, yhteissuunnittelun puute ja johtamisongelmat, huonot prosessit, heikko sitoutuminen prosesseihin, muutostenhallinta ja osaoptimointi.

Työn tulosten perusteella esitettiin kolme kehitysaskelta, joista jokainen vähentää huomattavasti käytettyä erilliskaapeloinnin määrää. Jokaisen askeleen kohdalle arvioitiin myös kyseisen ratkaisun tuomia vuosittaisia kustannussäästöjä.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

LAUKKANEN. TERO: The impact of automation and instrumentation solutions on production costs of modern working machines

Master of Science Thesis, 124 pages, 4 Appendix pages

November 2011

Major: Industrial Management

Examiner: Professor Petri Suomala

Keywords: CANopen, ABC, Activity-Based Costing, TQM, Quality Costs.

The purpose of this thesis is to research production quality problems of modern working machines. A need for this research was born from critics against high component prices and complexity of CANopen technology. Partly because of this, control system design process has differed from standardized CANopen management process, which has led to a widespread usage of analogy components in machines control systems. *One of the main objectives of this thesis is to study how these automation and instrumentation solutions affect on the production quality.*

Money is commonly used measurement of the quality. Thus, this study answers the question of what causes the largest problems in production and how costly are they on annual basis. The answers for these questions are produced based on the theory parts of this thesis. First of them concern activity-based costing and latter parts discusses general theory of quality and calculation of quality costs.

A comprehensive quality feedback collection was required to solve the above research objectives. The main data collection channels were company's databases, ERP system, written quality reports, production monitoring and interviews. The root causes for production quality problems were solved in six workshops, where each of the quality feedbacks were analyzed with "5 × why" -method widely known from Toyota.

As a result from the workshops, several problem areas were recognized from the production. *The largest was discrete cabling, which accounted as much as 61 % of the annual costs of poor quality.* Other problems aroused from poor quality of documentation and components. It was also found that all the production quality problems were caused by following upper level functions: poor technical solutions, lack of co-design, management problems, poor processes and commitment on processes, change management and component optimization based heavily only on material prices.

At the end of this thesis, three alternative development steps were created in order to solve the problems concerning the discrete cabling. Each of the steps involves specific action plans to reduce the cost of poor quality. In addition, a calculation was made for each step to evaluate the annual cost savings achieved from these actions.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö oli haastavin projekti, johon opiskeluaikanani osallistuin. Yksin en urakasta olisi selvinnyt, joten haluan kiittää kaikkia niitä henkilöitä, jotka tutkimukseen osallistuivat. Erityinen kiitos kuuluu työni ohjaajalle loistavasta teknisen puolen ohjauksesta sekä ennen kaikkea jatkuvasta kannustuksesta. Lisäksi kiitän koko ohjausryhmää mahdollisuudesta suorittaa tämä työ.

Haastavinta työssä oli löytää sopiva tutkimusmenetelmä tutkimusongelman ratkaisemiseksi. Käsiteltävä aihealue oli todella laaja, jonka vuoksi myös työn rajaus tuotti ajoittain ongelmia. Työn pituudesta johtuen monia asioita jouduttiin sulkemaan tarkastelun ulkopuolelle, mutta uskon työn täyttävän riittävän hyvin sille asetetut tavoitteet.

Tampereella 21. marraskuuta 2011

Tero Laukkanen

SISÄLLYS

Tiivistelmä	ii
Abstract	iii
Alkusanat	iv
Termit ja niiden määritelmät	viii
1 Johdanto	1
1.1 Tutkimusongelma ja työn tavoite	4
1.2 Tutkimuksen lähestymistapa ja menetelmät	5
1.3 Työn suoritus ja tutkimuksen rakenne	8
2 Analysoitavat laitteet ja tekniikka	10
2.1 Työssä tarkasteltavat laitteet	10
2.1.1 Tarkasteltava ohjausjärjestelmä	10
2.2 Työssä tarkasteltavat tuotantoprosessit	14
2.3 CANopen integrointialustana	15
2.3.1 Hallintaprosessi	15
2.3.2 Suunnittelutiedostot	16
2.3.3 Työkaluohjelmien kytkeminen toisiinsa	17
2.3.4 Objekti kirjasto	18
2.3.5 Parametrien hallinta	18
2.3.6 Laiteprofiilit	19
2.3.7 Protokollat	19
2.3.8 Fyysinen kerros	20
3 Toimintoperusteinen kustannuslaskenta	21
3.1 Toimintolaskennan edut	22
3.2 Toimintolaskennan käsitteitä	24
3.2.1 Toiminnot	24
3.2.2 Toimintojen luokittelut	25
3.2.3 Resurssit	29
3.2.4 Kustannusajurit	30
3.3 Laskentaperiaate	33
3.4 Toimintolaskennan käyttöönotto	37
3.5 Yhteenveto	40
4 Johdanto laadun maailmaan	42
4.1 Laatu käsitteenä	42
4.2 Katsaus laadun historiaan	44
4.3 Prosessiajattelu ja laadun parantaminen	46
4.3.1 Prosessin määritelmä	47
4.3.2 Miten prosessit liittyvät laatuun	48
4.3.3 Laadun parantaminen	48
4.3.4 PDCA-ympyrä	48
4.4 Yhteenveto	50

5	Laatukustannukset.....	51
5.1	Laskennan hyödyt	52
5.2	Laatukustannusten jaotteluja.....	55
5.3	Laatukustannusmallit	58
5.3.1	Juranin malli	58
5.3.2	Nollavirhemalli	60
5.3.3	Taguchin malli	61
5.4	Laskennan haasteita	63
5.5	Laskenta käytännössä.....	65
5.5.1	Laskentaprojektin suunnittelu ja tavoitteet.....	65
5.5.2	Tietolähteet ja laatu tiedon keruu.....	66
5.5.3	Tiedon analysointi.....	71
5.5.4	Laatukustannusten laskenta ja laskentatiedon hyväksikäyttö.....	71
5.6	Yhteenveto	72
6	Tarkasteltavien laitteiden laatukustannukset	75
6.1	Laatutiedon keruu.....	76
6.1.1	Kirjalliset raportit ja kyselyt	76
6.1.2	Tietojärjestelmät	77
6.1.3	Tuotannon seurannat.....	77
6.1.4	Haastattelut	79
6.2	Laatutiedon käsittely	80
6.2.1	Juurisyiden selvittäminen	80
6.2.2	Laatupalautteiden jaottelut.....	81
6.3	Laatukustannuslaskennan tulokset.....	84
6.3.1	Kustannukset vakiovirhekoodien mukaisesti.....	86
6.3.2	Kustannukset ensimmäisten juurisyiden mukaisesti.....	87
6.3.3	Kustannukset perimmäisten juurisyiden mukaisesti.....	93
6.3.4	Kustannukset vuositasolla.....	95
6.4	Väyläongelmat	100
6.4.1	Prototyypin väyläongelmat	101
6.4.2	Venttiilivirheet.....	102
6.4.3	Sarjatuotannossa esiintyvät virheet.....	104
6.5	Yhteenveto	104
7	Tärkeimpiä kehityskohteita.....	107
7.1	Kaapeloinnin kehittäminen	107
7.1.1	Ensimmäinen askel	108
7.1.2	Toinen askel.....	109
7.1.3	Kolmas askel.....	110
7.2	Tuotannon dokumentoinnin kehittäminen	111
7.3	Komponenttien laadun kehittäminen	112
7.4	Kokonaisvaltainen laadun kehittäminen	113
7.4.1	Huonot tekniset valinnat	114

7.4.2	Yhteissuunnittelun puute ja johtaminen	115
7.4.3	Huonot prosessit	115
7.4.4	Puutteellinen sitoutuminen prosesseihin.....	116
7.4.5	Muutostenhallinta	116
7.4.6	Laadunvalvonnan puutteet ja niiden kehittäminen	117
7.5	Jatkotutkimuskohteita	117
7.6	Yhteenveto	119
8	Tutkimuksen arviointi	121
8.1.1	Tavoitteiden saavutus	121
8.1.2	Tutkimuksen haasteet	122
8.1.3	Tulosten luotettavuus.....	124
	Lähteet.....	125
	Liitteet	129

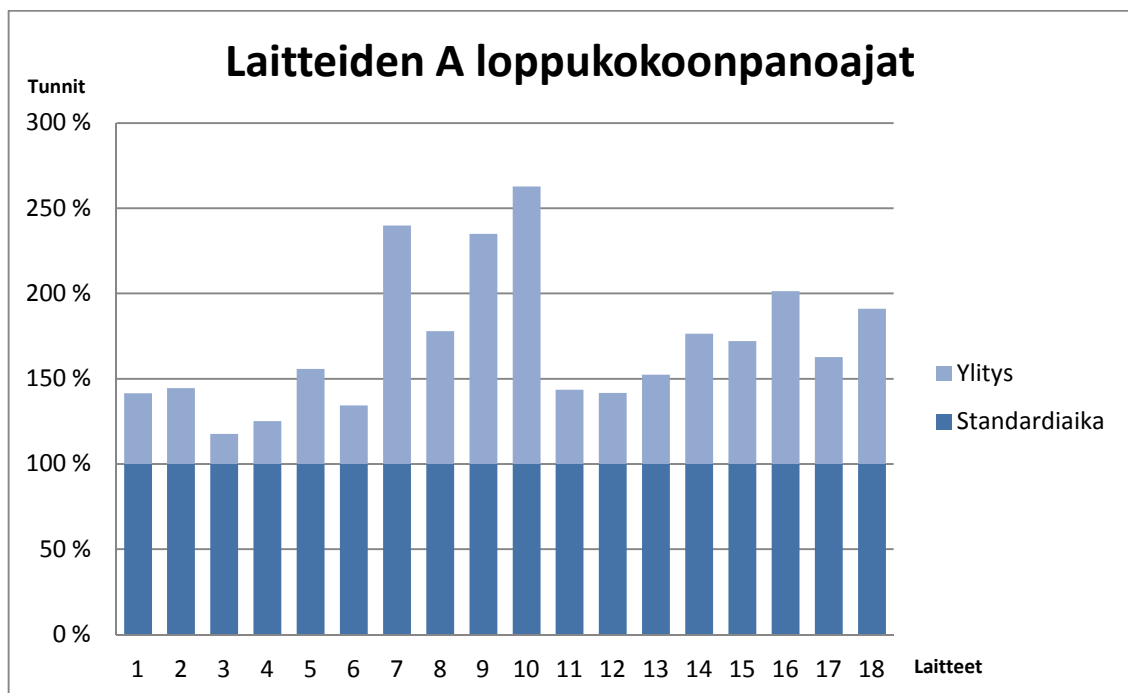
TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Termi/lyhenne	Selitys
ABC	Activity-Based Costing
Boot	Bootstrap- protokollan avulla CANopen-solmu ilmoittaa käynnistymisensä muille solmuille
CAD	Computer aided design
CAN	Control Area Network
CANopen	Protokollista, hallintaprosessista ja konfiguraatiodietoista koostuva hajautettujen järjestelmien integrointialusta
CPD	CANopen Profile Database
CiA	CAN in Automation, organisaatio CANopen-verkon kehittämiseen ja ylläpitoon
COTS	Commercial of the shelf, tarkoittaa kaupallisesti “suoraan hyllyltä” ostettavia tuotteita
CWQC	Companywide Quality Control
DCF	Device Configuration File
ECU	Engine Control Unit
EDS	Electronic Data Sheet
EMCY	EMergenCY-protokolla
FW	Firmware
GWQC	Groupwide Quality Control
Heartbeat	Protokollan avulla solmu voi tuottaa tietoa omasta toimintatilastaan muille väylän solmuille
HMI	Human-Machine Interface
I/O	Input/output
IPC	Industrial Personal Computer
ISO	International Organization for Standardization
ISO-11898-1	Standardi: Road Vehicles – Controller Area Network (CAN) for High-speed Communication
ISO-9000	Kokoelma eri laatustandardeja
LSS	Layer Settings Services
MPDO	Multiplexed PDO
NMT	Network Management
Node-guarding	Protokollan avulla CANopen-manager voi valvoa solmujen toimintatilaa
OSI	Open System Integration
PAFF-malli	Laatukustannusten jaottelumalli
PDCA-ympyrä	Laadun kehittämisen työkalu
PDO	Process Data Object
PLC	Programmable Logic Controller
QC	Quality Control

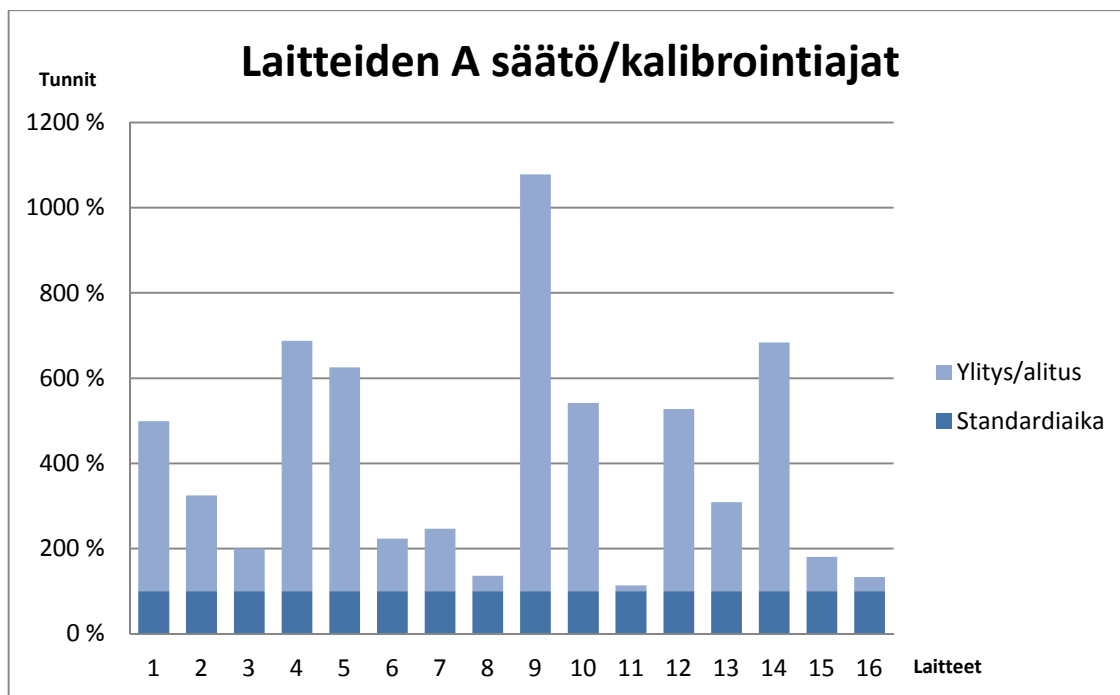
QM	Quality management
SDO	Service Data Object
SPC	Statistical Process Control
SQC	Statistical Quality Control
SRDO	Safety-Related Data Object
SYNC	Synchronization -protokolla, jonka avulla PDO-kehysten lähetys voidaan tahdistaa keskitetysti
TIME	Protokolla, jonka avulla voidaan tuottaa globaali aikatieto CANopen-verkkoon
TQC	Total Quality Control
TQM	Total Quality Management
XDC	Xml Device Configuration
XDD	Xml Device Description

1 JOHDANTO

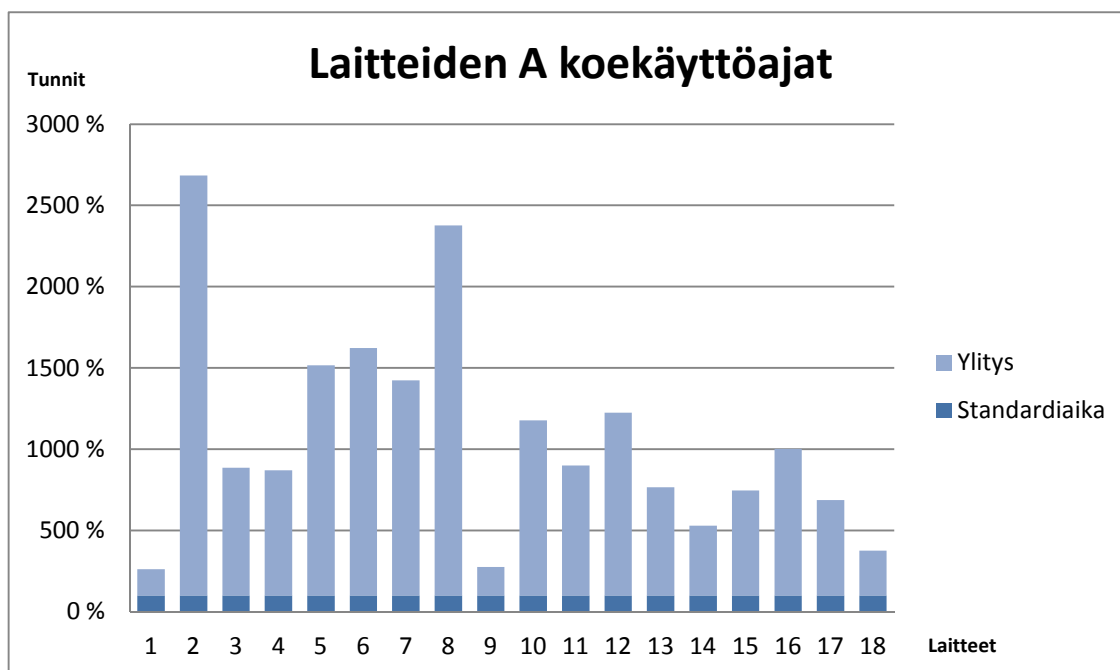
Kädessäsi oleva tutkimus käsittelee modernien väyläohjattujen työkoneneiden tuotannon ongelmia. Vaikka tarkasteltavan laiteperheen valmistuksen aloituksesta on kulunut jo vuosia, ei tuotanto edelleenkään toimi suunnitellulla tavalla. Alla olevat kaaviot kertovat karua todellisuutta: tuotannon läpimenoaikojen ylitys näyttäisi olevan pikemminkin sääntö, kuin poikkeus. Laitteiden A loppukokoonpanon, säädön/kalibroinnin sekä koekäytön läpimenoajat on esitetty kuvissa 1.1, 1.2 ja 1.3. Kuvissa läpimenoaikoja on verrattu laskettuihin standardiläpimenoaikoihin ja palkkien päällä olevat luvut kertovat ylityksen tai alituksen määrän lasketuista standardiajoista. Kuten kaavioista huomataan, kalibroinnin/säädön sekä koekäytön kohdalla ylitykset ovat erittäin suuria. Standardiaikaan verrattuna ongelmallisin vaihe näyttäisi olevan koekäyttö, joka on myös työn vaiheista viimeisin. Ja kuten yleisesti tiedetään, *mitä myöhemmässä vaiheessa ongelmat havaitaan, sen suuremmat ovat siitä aiheutuvat kustannukset.*



Kuva 1.1. Laitteiden A loppukokoonpanon läpimenoajat.



Kuva 1.2. Laitteiden A säädön/kalibroinnin läpimenoajat.



Kuva 1.3. Laitteiden A koekäytön läpimenoajat.

Tarkasteltavien laitteiden tuotantovolyymeja tullaan jatkossa kasvattamaan, joten ilman välittömiä laadun parannuksia tilanne tulee vaikenemaan entisestään. Koska tavoiteltuihin läpimenoaikoihin ei päästä, herää kysymys siitä, mistä näin suuret ylitykset johtuvat? Asiakasoptiot ja niiden synnyttämät laitevariaatiot selittävät läpimenoaikojen vaihtelua, mutta eivät jatkuvaa ylitystä lasketuista standardiajoista. Ovatko standardiajat realistisia vai onko kyseessä tuotantoprosessin puutteellinen hallinta? Johtuvatko tuotannon ongelmat laitteiden teknisistä ratkaisuista vai kenties toiminnan laatuun liittyvis-

tä puutteista? Mikä vaikutus suunnittelun toiminnalla ja dokumentaation laadulla on laitteiden tuotantoon?

Usein tuotannon ongelmat ovat peräisin toiminnan laaduttomuudesta, joka on seurausta laaduttomista prosesseista ja toimintatavoista. Prosessien kehittäminen liittyy läheisesti jatkuvaan laadunparantamiseen: tehokkaat, läpi organisaation leikkaavat prosessit edesauttavat osastojen välistä yhteistyötä ja sen myötä laadukkaiden tuotteiden valmistusta. Eräs hyödyllinen laadun kehittämisen työkalu on toimintoperusteinen kustannuslaskenta. Yksi sen huomattavista eduista on prosessien tehokkuuden mittaaminen laskentaan kuuluvien toimintoajureiden avulla. Ajurit kertovat sen, onko työnteko tehostunut vai heikentynyt verrattuna aiempiin mittaustuloksiin. Toimintolaskentaa pidetään lisäksi totuudenmukaisempana vaihtoehtona perinteiselle lisäyslaskennalle. Se lähtee ajatuksesta, jonka mukaan kaikki tuotteet ja palvelut syntyvät erinäisten toimintojen avulla. Toiminnot auttavat siis ymmärtämään sen, mitä yrityksessä todella tehdään. Kokonaisvaltaista laatua voidaan tämän jälkeen kehittää poistamalla kaikki ne toiminnot, jotka eivät tuota lisäarvoa tai jopa tuhoavat sitä.

Pysyvä laadun kehittäminen edellyttää kaikkein ongelmallisimpien osa-alueiden tunnistamista. Tehokas laadun kehittämisen työkalu on laatukustannuslaskenta, jonka tarkoitus on laskea laaduttomuudesta aiheutuvia taloudellisia menetyksiä. Laatukustannuslaskennan tuottama rahamääräinen tieto herättää päättäjien huomion paremmin kuin sanallinen laatupalaute, koska sen perusteella parannustoimenpiteet voidaan perustella konkreettisesti. Lisäksi laskenta auttaa kaikkein kannattavimpien kehityskohteiden valinnassa. Kaikkea ei voida korjata kerralla, vaan usein on valittava ne kehityskohteet, jotka tuottavat eniten taloudellista hyötyä pitkällä aikavälillä. Laatukustannukset kertovat siis sen, kuinka paljon yrityksessä tai sen prosesseissa tehdään lisäarvoa tuottamatonta työtä.

Sekä toimintoperusteinen kustannuslaskenta että laatukustannuslaskenta toimivat tämän tutkimuksen työkaluina. Niiden avulla on tarkoitus selvittää se, mistä kuviin 1.1, 1.2, 1.3 merkityt läpimenoaikojen ylitykset johtuvat ja kuinka näitä ongelma-alueita voidaan kehittää.

Työn johdanto-osuudessa lukija perehdytetään tutkimuksen aihepiiriin ja kerrotaan, kuinka tutkimus vastaa edellä esitettyihin kysymyksiin. Luvussa 1.1 kuvataan työn tutkimusongelma ja aihepiiriin tehty rajaukset. Lisäksi työlle määritellään selvät tavoitteet ja kysymykset, mihin tutkimuksen on tarkoitus vastata. Luku 1.2 käsittelee työssä käytettyjä tutkimusmenetelmiä. Luvussa 1.3 tutkimus jäsennetään loogiseksi kokonaisuudeksi ja esitellään työn rakenne.

1.1 Tutkimusongelma ja työn tavoite

Tuotannon haasteisiin halutaan parannusta. Parannustoimenpiteitä ei ole kuitenkaan järkevää suunnitella eikä toteuttaa, elleivät ongelmien todelliset aiheuttajat ole tiedossa. Aluksi on siis selvitettävä, mitkä ovat niitä havaittujen oireiden taustalla vaikuttavia syitä, jotka pidentävät tarkasteltavien laitteiden läpimenoaikoja. Tuotantoprosessin pulonkaulaksi on muodostunut säätö/kalibrointi sekä koekäyttö, joissa havaitaan huomattava määrä aiemmin tuotantolinjalla tehdyistä virheistä. Kuten jo aiemmin todettiin, mitä myöhemmässä vaiheessa ongelmat havaitaan, sitä suuremmaksi nousevat niistä aiheutuvat kustannukset. *Ensimmäinen tutkimuksen tavoitteista on selvittää tuotanto-ongelmien taustalla olevat todelliset juurisyyt.*

Heti tutkimuksen alettua kuitenkin huomattiin, ettei tuotannon ongelmia ole raportoitu kattavasti. Todellisuudessa tilannetta voisi kuvailla jopa huonoksi: laatu palautetta oli saatavilla hyvin niukasti ja näyttää siltä, että jatkuva ja systemaattinen laadunhallinta on laiminlyöty. Laadunhallinnassa on keskitytty oireisiin juurisyiden analysoinnin sijaan. Tilanne ei kuitenkaan ollut toivoton, sillä laatu palautetta oli kaikesta huolimatta kerätty jonkin verran tuotantolinjoilta. Laitteiden B tuotannon laatua oli seurattu ennen tämän tutkimuksen alkua yhden seurantalaitteen avulla vuonna 2010. Seurannassa kirjattiin ylös kaikki sähkö- ja mekaniikkatyöhön liittyvät häiriötilanteet. Tähän palataan myöhemmin luvussa 6. Linjalla A vastaavaa selvitystä ei ole tehty. Heikon laadunvalvonnan sekä vähäisen laatu palautteen vuoksi tutkimuksen yksi tehtävistä on luotettavan *laatu-tiedon kerääminen ja kokoaminen eri tietolähteistä*, jotta tutkimuksen ensimmäinen tavoite voidaan täyttää.

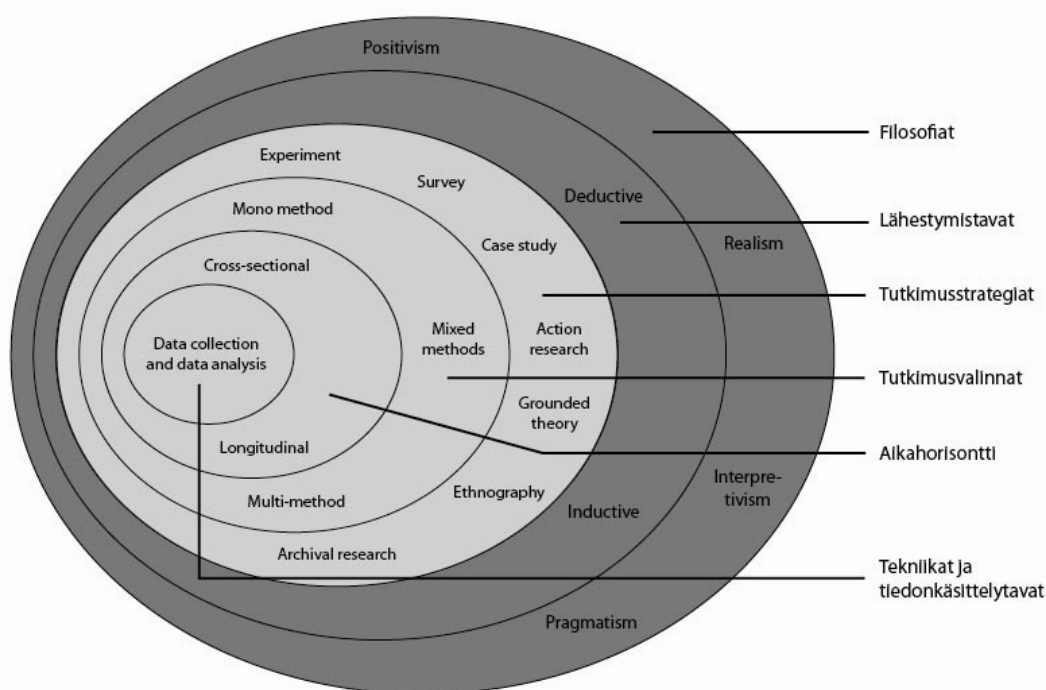
Tarkasteltavien laitteiden uusi, hajautettu ohjausjärjestelmä on saanut osakseen kritiikkiä. Käytettyä tekniikkaa on kritisoitu sen monimutkaisuuden vuoksi; perusteluina on käytetty CANopen komponenttien korkeaa hintaa sekä huollon vaikeutta ongelmatilanteissa. Kritiikistä johtuen ohjausjärjestelmän kaikkia osia ei ole toteutettu CANopen:n ja sen laiteprofiilien mukaisesti. Niinpä tämän tutkimuksen *yksi tavoitteista on tutkia sitä, miten laitteiden ohjausjärjestelmän tekniset ratkaisut vaikuttavat tuotannon sujuvuuteen, ja että onko toteutustavoissa sellaisia ratkaisuja, jotka vaikeuttavat tuotantoa.* Työn laajuus on rajattu ainoastaan automaatioon ja sähköön liittyviin ongelmiin. Tutkimuksen laajuutta rajattiin myös niin, että tarkasteluihin sisällytetään ainoastaan yrityksen sisäiset laatuongelmat.

Vaikka tuotanto-ongelmien taustalla olevien juurisyiden selvitys on jo sellaisenaan hyvin arvokasta tietoa, saavat ne todellisen merkityksen vasta kun ongelmat muutetaan rahamääräiseksi tiedoksi: *yksi työn tavoitteista on laskea arvio laatuongelmien kustannusvaikutuksista.* Kuinka paljon nykyiset laatu puutteet maksavat ja mitä kerrannaisvaikutuksia niillä on tuotannon kapasiteetin käyttöasteeseen sekä menetettyyn myyntiin?

Ongelmiin liitetyt ”hintalaput” osoittavat ne parannuskohteet, joita kehittämällä aikaan-
saadaan parhaat mahdolliset taloudelliset hyödyt.

1.2 Tutkimuksen lähestymistapa ja menetelmät

Monesti liiketalouden tutkimustöissä tutkija esittelee työssä käytetyt tutkimusmenetelmät sekä käytetyn aineiston hyvin suppeasti työn alussa. Esittely sisältää yleensä työssä käytetyn tutkimusstrategian sekä aineiston keruu- ja analysointitekniikat. Saunders et al. (2009) näkevät kuitenkin liiketalouden tutkimuksen laajemmassa mittakaavassa kuvan 1.4 sipulimallin mukaisesti.

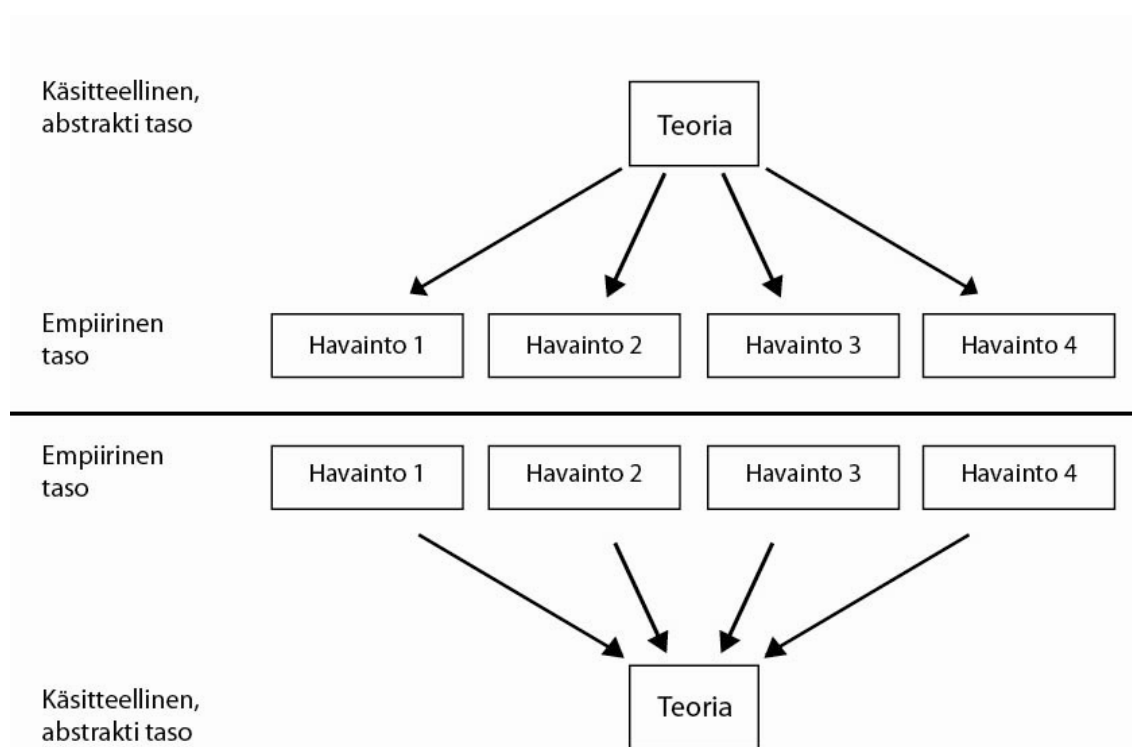


Kuva 1.4. Liiketaloudellisen tutkimuksen ”sipulimalli” (mukailtu lähteestä Saunders et al. 2009, s. 108.)

Mallin uloin kaari kuvastaa tieteenfilosofista valintaa, jonka tutkija tekee joko tietoisesti tai tiedostamattaan. Tutkimuksen filosofinen lähestymistapa voidaan jakaa neljään osaan: pragmatismiin, interpretivismiin, realismiin ja positivismiin. Pragmatismi on tieteenfilosofinen suuntaus, jossa korostetaan tiedon käytännöllistä luonnetta. Pragmatismi korostaa toimintaa ja käytännön tekemistä tutkimustyössä, ongelman ratkaisussa ja tiedon tuottamisessa. Interpretivismi korostaa tulkinnallisuutta tiedon tuottamisessa. Laadullinen tutkimus pohjautuu interpretivismiin ja se voidaan nähdä positivismin vastakohtana. Positivismi korostaa tarkkoja, tietyn alan tieteellisiä menetelmiä tiedon tuottamisessa. Siinä korostetaan objektiivista havainnointia ja mittausta määrällisten muuttujien avulla. Realismin mukaan tarkka havainnointi tuottaa parasta tietoa tutkijasta,

ympäristöstä ja näkökulmasta riippumatta. Realismi ja positivismi ovat lähellä toisiaan ja näissä suuntauksissa hyödynnetään usein määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Liiketalouden tutkimuksessa ei ole tarkoitus valita tiettyä tieteenfilosofista suuntausta, vaan niiden tiedostaminen auttaa tutkijaa ymmärtämään mihin oma tutkimushanke sijoittuu laajemmassa tieteenfilosofisessa joukossa sekä mitkä ovat valitun menetelmällisen lähestymistavan rajoitteet ja taustaoletukset. (Saunders et al. 2009, ss. 106–135.)

Sipulimallin toiseksi ulommainen kehä selittää tutkimuksen suhdetta teoriaan. Induktiivisessa järjestyksessä on tavoitteena uuden teorian luominen tutkimuksen kuluessa. Deduktiivisessä päättelyssä taas jostain yleistyksestä (teoriasta) johdetaan yksittäistapausta koskeva johtopäätös. Kuva 1.5 selkeyttää tätä kahtiajakoa. *Tässä tutkimuksessa sovelletaan selkeästi deduktiivista päättelyä: käsiteltyjen teorioiden pohjalta luodaan yksityiskohtaisia johtopäätöksiä tämän hetken tuotannon ongelmista.* Ojala et al. (2003, ss. 45–51) mukaan tutkimus ei kuitenkaan koskaan ole täysin deduktiivista tai induktiivista, vaan yleensä painottuu jompaankumpaan suuntaan.



Kuva 1.5. Erot deduktiivisen ja induktiivisen järjelyn välillä (mukailtu lähteestä De Vaus, 2001, s. 6.)

Sipulimallin seuraava taso määrittelee tieteenfilosofisia ratkaisuja konkreettisemmin sen, millainen tutkimuksen empiirinen asetelma on ja miten tietoa kerätään. Tätä kokonaisuutta Saunders et al. (2009, s. 141) nimittävät tutkimusstrategiaksi. Se pitää sisäl-

lään tutkimuksen teoreettiset sekä käytännön tason ratkaisut tutkinnan suorittamiseksi. Sipulimallissa tutkimusstrategiat on jaoteltu seitsemään kategoriaan. Hirsjärvi et al (s. 130) jaottelevat ne kuitenkin karkeammin kolmeen pääluokkaan: kokeelliseen tutkimukseen (experiment), survey-tutkimukseen (survey) ja tapaustutkimukseen (case study). Tapaustutkimuksen tyypillisiä piirteitä ovat:

- Tarkastellaan ja analysoidaan intensiivisesti yksittäistä tapausta tai pientä joukkoa. Kiinnostuksen kohteena on usein yritys tai yrityksen osa. Kohde voi olla myös toiminnallinen, kuten prosessi tai jokin yrityksen rakenteellinen ominaisuus.
- Tutkimus on usein empiiristä ja aineistoa kerätään useita metodeja käyttämällä: havainnointi, haastattelut, dokumenttien ja arkistomateriaalien tutkiminen.
- Tarkoituksena on yleistää tulokset suhteessa teoriaa.
- Tavoitteena on kokonaisvaltainen ymmärrys kohteesta. (Saunders et al. 2009; Koskinen et al. 2005; Hirsjärvi et al. 2007.)

Edellä esitettyjen piirteiden vuoksi voidaan todeta tämän tutkimuksen olevan hyvin lähellä tapaustutkimusta. Työssä tarkastellaan tiettyä tuoteperhettä ja sen tuotantohäiriötä taloudellisten teorioiden pohjalta. Kiinnostuksen kohteena on erityisesti laitteiden tuotantoprosessi. Tietoa kerätään haastatteluilla, tuotannon seurannoilla, kirjallisilla kyselyillä, suullisesta tiedosta, raporteista sekä yrityksen tietojärjestelmistä. Tarkoituksena on muodostaa kokonaisvaltainen kuva tuotannon tämän hetken tilasta.

Perinteisesti tutkimus on jaettu tiedon keruu- ja analysointitekniikan suhteen kahteen eri luokkaan; joko kvalitatiiviseen (laadulliseen) tai kvantitatiiviseen tutkimukseen (määrälliseen). Kvantitatiivisessa tutkimuksessa kerätty tieto on yleensä numeerisessa muodossa, kvalitatiivisessa tutkimuksessa se taas on sanallista (ei-numeerista). Saunders et al. (2009) listaavat laadullisen ja määrällisen tutkimuksen ominaispiirteitä taulukon 1.1 mukaisesti.

Taulukko 1.1. Kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tutkimuksen ominaispiirteitä (Saunders et al. 2009, s. 482.)

Kvantitatiivinen	Kvalitatiivinen
Perustuu numeeriseen tietoon	Perustuu sanalliseen tietoon
Tietoa kerätään numeerisesta sekä standardoidusta datasta	Tietoa kerätään standardoimattomasta datasta, joka vaatii tiedon jaottelun kategorioihin
Tietoa analysoidaan diagrammien ja tilastojen kautta	Tietoa analysoidaan käsitteellisellä tasolla

Selkeää kahtiajakoa laadullisen ja määrällisen tutkimuksen välillä ei kuitenkaan Alasuutarin (1999, s. 26) mukaan voida nykyään tehdä, vaan monesti tutkimuksessa on piirteitä molemmista. Sipulimallissa Saunders et al. (2009, s. 151) nimittävät tätä jaottelua tutkimusvalinnaksi (research choices). Tutkimusvalinta voidaan jakaa kolmeen osaan sen mukaan, onko tutkimus selkeästi kvalitatiivista tai kvantitatiivista (mono-method), vai yhdistyykö siinä sekä laadullinen että määrällinen tutkimus (mixed methods, multi-methods). Jälkimmäisessä yhdistetyssä tutkimuksessa menetelmät voidaan jakaa vielä kahteen osaan. Jaottelu tehdään sen mukaan, sekoitetaanko esimerkiksi kvalitatiivinen aineiston keruu kvantitatiiviseen aineiston analyysiin (mixed-methods), vai onko tiedon keruu- ja analysointitekniikat aina tietyssä tutkimuksen osassa samat (multi-methods). Tässä diplomityössä sovelletaan selvästi yhdistettyä tutkimusvalintaa. Tiedon keruu standardoimattomasta datasta kuten paperiraporteista, häiriöilmoituksista, teemahaastatteluilta, tuotannon seurannoista sekä suullisesta tiedosta täyttävät kvalitatiivisen tutkimuksen tunnusmerkkejä. Toisaalta kvalitatiivisen tiedon pohjalta tuotetaan numeerista tietoa, joka puolestaan on lähinnä kvantitatiivista tutkimusta. Hirsjärven et al. (2007) mukaan kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen tutkimus voivat täydentää toisiaan esimerkiksi kun kvalitatiivisen analyysin tulosten pätevyysaluetta pyritään laajentamaan yksinkertaisten laskennallisten menetelmien avulla. Tässä työssä kvalitatiivinen tieto muutetaan käsiteltyjen teorioiden avulla kvantitatiiviseksi tiedoksi.

Sipulimallin toiseksi sisimmäinen kehä määrittelee tutkimuksen aikahorisontin. Vaihtoehtoja on kaksi: poikkileikkaus- tai pitkittäinen aikahorisontti. Näistä jälkimmäinen tarkoittaa tutkimusta, jonka tarkastelujakso on tietyn ajan mittainen, esimerkiksi puoli vuotta. Poikkileikkaus puolestaan tarkoittaa tietyn ajanhetken sen hetkistä tarkastelua. Siinä siis valitaan joku tarkka aika, johon tutkimus keskittyy. Poikkileikkaus on verrattavissa tietyllä ajanhetkellä otettuun valokuvaan, kun taas pitkittäinen ajanjakso tarkoittaa useasta kuvasta tehtyä sarjaa. Tässä tutkimuksessa ajallinen painopiste on staattinen eli tarkoitus on tuottaa poikkileikkauskuva tämän hetkisistä tuotanto-ongelmista.

1.3 Työn suoritus ja tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen rakenne jakautuu pääasiassa kahteen erilliseen kokonaisuuteen: teoria sekä käytännön osuuteen. Ensimmäisessä osassa tutkimukselle luodaan teoreettinen pohja, jonka avulla tutkimukselle asetetut viisi tavoitetta aiotaan saavuttaa. Näitä ovat:

- Kerätä ja analysoida laatuvalutteen tarkasteltavien laitteiden tuotannosta
- Selvittää tuotanto-ongelmien taustalla olevat juurisyyt
- Laskea tuotanto-ongelmien laatuksennukset
- Tutkia, kuinka eri instrumentointitratkaisut vaikuttavat tuotannon kustannuksiin
- Osoittaa tärkeimmät kehityskohteet

Teoriaosuus jakautuu viiteen päälukuun: johdannon jälkeen, luvussa 2 käsitellään työn ymmärtämisen kannalta välttämättömät taustatiedot. Siinä kuvataan lyhyesti työssä tarkasteltavia laitteita ja niiden tekniikkaa. Luvussa käsitellään lisäksi laitteiden ohjausjärjestelmää sekä laitteiden tuotantoprosesseja. Luvun viimeinen osio käsittelee ohjausjärjestelmien integrointialustaa – CANopen:ia.

Luku 3 käsittelee toimintoperusteista kustannuslaskentaa ja erityisesti sitä, miten se eroaa perinteisestä lisäyslaskennasta. Aluksi käsitellään toimintolaskennan peruskäsitteitä, jonka jälkeen kuvataan sen laskentaperiaate. Luvussa 3.4 selvitetään se, kuinka toimintolaskenta voidaan käytännössä ottaa käyttöön.

Luvut 4 ja 5 käsittelevät yleistä laadun teoriaa niin, että luvussa 4 lukija johdatellaan laadun maailman aluksi lyhyellä historiakatsauksella. Laadun historiasta nähdään kuinka laatuajattelu on kehittynyt ajan saatossa ja kuinka nykyaikaiseen laatuajatteluun on päädytty. Tutkimusongelman kannalta kaikkein tärkein teoriaosuus löytyy luvusta 5, mikä käsittelee laatukustannusten laskentaa. Aluksi lukijalle selvitetään mitä laatukustannuksilla ylipäättänsä tarkoitetaan ja miksi niitä kannattaa laskea. Luvussa 5.3 esitellään tunnetuimmat laatukustannusten käyttäytymistä kuvaavat mallit, jonka jälkeen kuvataan se, miten laatukustannuksia käytännössä lasketaan.

Varsinainen työn suoritus eli käytännön osuus on kuvattu luvusta 6 eteenpäin. Luku alkaa laatu tiedon keruulla ja analysoinnilla. Nämä vaiheet vastaavat kysymykseen siitä, mistä johdannossa esitetyt tuotannon läpimenoaikojen ylityksen ovat todellisuudessa peräisin. Juurisyiden selvityksen jälkeen laatuongelmat muunnetaan rahamääräiseen muotoon luvussa 6.3. Laatukustannusten sekä niiden kerrannaisvaikutusten selvittämisen jälkeen paneudutaan erikseen tarkasteltavien laitteiden väylätekniikkaan liittyviin ongelmiin. Työn tulosten perusteella tehtävät johtopäätökset sekä kehityskohteiden nimeämiset löytyvät luvusta 7. Luku 7.5 käsittelee mitä jatkotutkimusta tuotannon ongelmat vaativat, jotta laatuongelmat saadaan korjatuksi.

Lopuksi, luvussa 8 arvioidaan työn suorituksen onnistumista sekä sitä, miten hyvin työ vastasi johdannossa esitettyyn tutkimusongelmaan. Työn lopussa on luettelo käytetyistä tietolähteistä sekä työhön liittyvät liitetiedostot.

2 ANALYSOITAVAT LAITTEET JA TEKNIikka

Tässä luvussa tarjotaan lukijalle tutkimuksen ymmärtämisen kannalta tarvittavat perustiedot. Luku 2.1 keskittyy työssä tarkasteltaviin tuotteisiin aluksi yleisellä tasolla sekä myöhemmin niiden automaatiotekniikan osalta. Luvussa 2.2 esitellään työssä tarkasteltavat tuotantoprosessit, jonka jälkeen luvussa 2.3 paneudutaan laitteiden ohjausjärjestelmän integraatioalustaan eli CANopen:iin.

2.1 Työssä tarkasteltavat laitteet

Työssä tarkasteltavan työkoneet voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: laitteisiin A ja laitteisiin B. Laite B sisältää vähemmän asiakasoptioita ja on siksi rakenteeltaan yksinkertaisempi. Tästä johtuen sen tuotantoprosessi on enemmän standardoitu kuin laitteen A ja siten myös sen vuosittainen tuotantovolyyymi on reilusti laitetta A suurempi. Vuonna 2011 laitteiden A ja B tuotantovolyyymien suhde oli vastaavassa järjestyksessä noin 1:5.

2.1.1 Tarkasteltava ohjausjärjestelmä

Ennen nykyaikaisia, väyläohjattuja järjestelmiä laitteiden ohjaus toteutettiin pitkälle 1980-luvulle asti hydraulisella ohjauksella. Hydraulinen ohjaus tarkoitti käytännössä esiohjausventtiilien sijoittamista ohjaamoon, ellei käyttäjä ohjannut laitetta suoraan puomin ohjausventtiileiltä. Suorassa hydraulisessa ohjauksessa työolosuhteet olivat nykyaikaisen ergonomian silmin huonot: venttiilien synnyttämä melu ja laitteen avonaisuus altistivat käyttäjän jatkuvalla tärinällä ja melusaasteelle. Ohjaukseen oltiin kuitenkin tyytyväisiä, kun paremmasta ei tiedetty ja olihan työn tuottavuus noussut huomattavasti aiempiin paineilmaohjattuihin laitteisiin verrattuna.

Ergonomiavaatimusten noustessa alettiin yhä enemmän kiinnittää huomiota laitteiden lämpö- ja melusaasteeseen. Ohjaamoissa tuli olla entistä vähemmän hydraulisia tai paineilmalla toimivia komponentteja ja tämän seurauksena alettiinkin kehittää laitteiden sähköistä ohjaustapaa. Sähköohjauksessa ohjaamoon voitiin hydrauliletkujen sijasta viedä sähköjohtoja, jolloin ohjaamojen melu väheni huomattavasti. Alussa sähköinen ohjaus toteutettiin pitkälti releillä ja pilottiohjauksella, mutta automaatiovaatimusten kasvaessa alettiin enemmässä määrin siirtyä ohjelmoitaviin logiikoihin ja tietokoneohjaukseen. Tässä vaiheessa ohjaus oli kuitenkin pitkälle keskitettyä ja ongelmaksi muodostui keskitettyjen järjestelmien muokattavuuden vaikeus sekä suuri erilliskaapeloinnin määrä. Suuri kaapelimäärä ja epästandardit sarjaliitännät vaikeuttivat virrehallintaa ja

lisäsivät laitteiden vikaherkkyyttä. Lisäksi lukuisat kaapelit ja niiden läpiviennit ohjaamoon tuhosivat muuten hyvänkin äänieristyksen, jolloin melusaaste oli ennallaan tai jopa pahempi kuin hydrauliohjatuissa laitteissa.

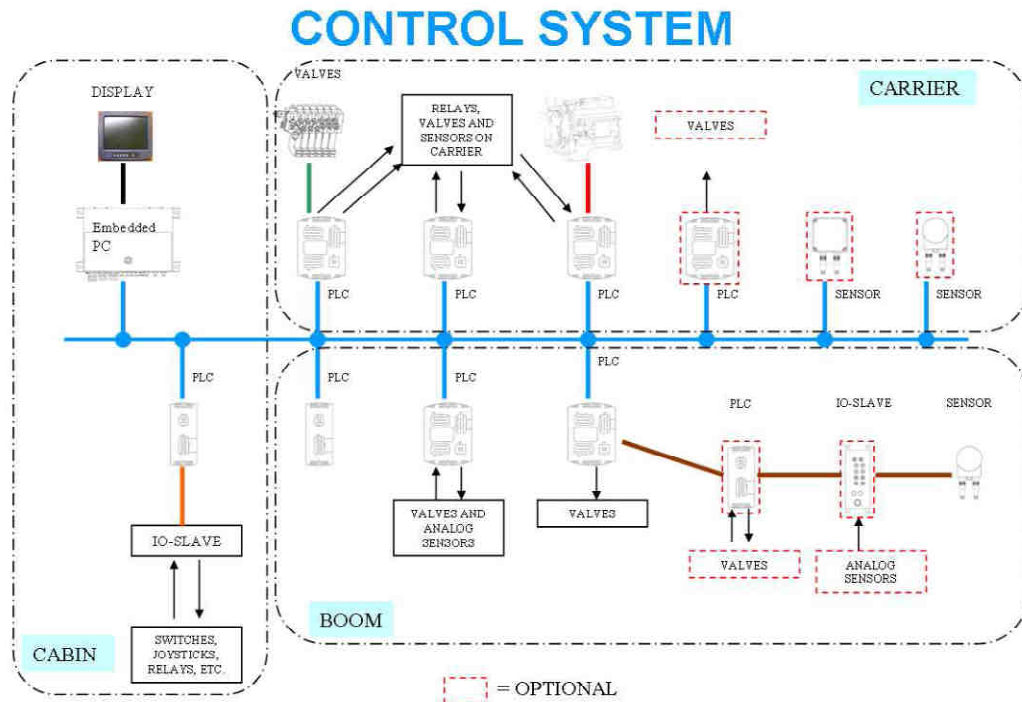
Näitä ongelmia on pystytty pitkälti ratkaisemaan nykyisellä ohjausjärjestelmällä. Järjestelmärakenne on hajautettu, eli sen osat ovat fyysisesti sijoitettu eri puolille konetta. Osat kuitenkin kytkeytyvät toisiinsa CANopen-verkon välityksellä. Oikein käytettynä avoimiin standardeihin perustuva väyläjärjestelmä ratkaisee monta aiemmin esitettyä ongelmaa: ohjaamoon ei tarvitse viedä lämpöä ja melua tuottavia hydraulikomponentteja, yhtenäisiin palveluihin perustuva virheenhallinta on huomattavasti aiempaa helpompaa ja erilliskaapeloinnin määrä vähentyy huomattavasti. Väyläohjaus mahdollistaa myös pitkälle automatisoidun ohjauksen ja erinomaisen käyttäjäystävällisyyden.

Ohjausjärjestelmän rakenne

Tässä yhteydessä esitetty järjestelmärakenne on yleistys, eikä sellaisenaan välttämättä ole käytössä missään tietyssä laitetypissä. Vaikka variaatioita eri laitetyyppien välillä esiintyy, järjestelmän peruseriaatteet pätevät kaikkiin tarkasteltaviin laitteisiin. Seuraavaksi käsitellään lyhyesti CANopen järjestelmän toimintaa sekä siihen kuuluvia moduuleja.

Ohjausjärjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 2.1. Kuvassa katkoviivalla jaetut alueet kuvastavat laitteen fyysisiä osia: hytti, alusta ja puomit. Sinisellä, kuvan keskelle piirretty viiva kuvastaa kenttäväylää (CANopen), mihin järjestelmän eri osat liittyvät. Järjestelmä voidaan karkeasti jakaa kolmeen loogiseen kokonaisuuteen:

- ylin taso: sisältää tietokoneet, automaattiset toiminnot, datan keruun sekä käyttäjärajapinnan
- laitteen hallintataso: sisältää PLC:t, älykkäät anturit ja venttiilit, liitäntälaitteet sekä I/O-laitteet.
- alin taso: sisältää kaikki yksinkertaiset elektroniset komponentit sekä kaapelit.



Kuva 2.1. Esimerkki väyläohjatun ohjausjärjestelmän rakenteesta.

Ylimmän tason toiminnoista huolehtii kaksi PC:tä. Toinen tietokoneista pyörittää koneen operatiivisia toimintoja ja tarjoaa käyttäjälle graafisen käyttöliittymän, toinen taas huolehtii muun muassa tiedon keruusta sekä yhteyksistä ulkomaailmaan joko langattoman tietoverkon tai matkapuhelinverkon avulla. (Ahola 2009.)

Ohjausjärjestelmän tärkeimmät osat

Seuraavassa käsitellään ohjausjärjestelmään kuuluvat peruskomponentit. Kuten aiemmin todettiin, järjestelmien rakenne ja siten myös järjestelmään kuuluvat komponentit vaihtelevat laitemalleittain asiakastarpeen mukaisesti. Tässä kuitenkin yleisimmät osat:

PLC (Programmable Logical Controller) eli ohjelmoitava logiikka on automaatioprosessien ohjauksessa käytetty pieni tietokone. Logiikan avulla voidaan ohjata useita osajärjestelmän sisäisiä toimintoja. PLC:n edut ovat huomattavat aiemmin automaatiassa käytettyihin releisiin verrattuna: yhdellä PLC:llä pystytään korvaamaan satoja tai jopa tuhansia releitä ja ajastimia. Kaikki PLC:t on liitetty CANopen-verkkoon ja ne täytyy ohjelmoida ennen asennusta. Jokainen PLC kokoonpano voi sisältää jopa joitakin kymmeniä erilliskaapeloituja tuloja sekä lähtöjä, minkä kytkeminen vaatii runsaasti asennustyötä.

CAN-kytkin vastaanottaa solmuilta tulevat viestikehykset ja lähettää ne eteenpäin. Sen avulla looginen verkko voidaan jakaa useammaksi fyysiseksi verkoksi, mikä parantaa verkon suorituskykyä, helpottaa vianhakua sekä mahdollistaa verkon pidemmän yhteensasketun väyläpituuden ja joustavamman rakenteen käytön.

I/O-yksikkö yhdistää mittaus- ja ohjauslaitteet (esimerkiksi anturit, venttiilit) CANopen-verkkoon. Se sisältää useita digitaalisia ja analogisia lähtö- ja tuloliitäntöjä. I/O-yksikkö täytyy konfiguroida ennen liittämistä ja komponentteja vaihdettaessa konfiguraatiot täytyy vähintään tarkistaa. I/O-yksikkö vähentää kaapeleiden pituutta kun signaalikäsitely voidaan tehdä väyläliikenteen avulla. I/O yksiköiden ongelmaksi muodostuu kuitenkin runsas johdotuksen määrä. Jokainen kaapeli täytyy kuoria ja liittää erikseen, ja jos tätä verrataan CAN-kytkimen standardien mukaisiin väyläliitäntöihin, on selvää että asennus- ja huoltotyöt hidastuvat huomattavasti verrattuna älykkäiden antureiden ja toimilaitteiden käyttöön.

Älykkäät anturit ovat laitteita, jotka mittaavat haluttua suuretta (esimerkiksi liikettä, lämpötilaa, painetta, kallistumaa) ja lähettävät tiedon esimerkiksi CANopen verkon välityksellä kuluttaville laitteille. Niiden paremmuus perinteisiin analogia-antureihin verrattuna perustuu väylällä liikkuvaan digitaaliseen tiedonsiirtoon, jonka häiriönsietokyky on digitaalisesta koodauksesta ja tarkistussuunnasta johtuen analogiasignaalointia parempi. Antureiden väyläliitäntä vähentää johdotuksen määrää ja selkeyttää järjestelmän rakennetta, kun signaaleille ja parametreille on oleellisilta osin yhteinen rajapinta. Ne mahdollistavat myös väylältä käsin tapahtuvan virheenhallinnan. (CiA-404, CiA-406.)

Väyläventtiileillä tarkoitetaan laitteita, jotka nimensä mukaisesti integroidaan elektronikan avulla suoraan esimerkiksi CANopen-väylään. Venttiileihin integroitu yksikösäädin nopeuttaa säätöä, kun anturilta saatu mittaustulos voidaan suoraan käsitellä venttiilin säätimellä, eikä tietoa tarvitse aluksi lähettää PLC:n prosessoitavaksi ja sieltä edelleen ohjauksikomentona venttiilille. Säätönopeuden lisäksi tämä parantaa ohjauksen tarkkuutta perinteiseen venttiilitekniikkaan verrattuna. Säädin mahdollistaa myös tehdaskalibroinnin, minkä avulla laitteiden kokonaishajontaa voidaan pienentää. Kalibrointi vaatii kaksisuuntaisen tiedonsiirron, mihin kenttäväylä tarjoaa valmiit standardin mukaiset palvelut sekä parametrien hallintapalvelut. Näiden ominaisuuksien vuoksi yksikösäädin mahdollistaa venttiilin ohjauksen laitteen sovellusohjelmistosta sekä venttiilin rakenteesta riippumatta. Ennen CANopen-väylään liittämistä väyläventtiili täytyy konfiguroida, mutta itse asennus tehdään ainoastaan kahden kaapelin kytkennällä, venttiilin ketjutuksesta johtuen. (CiA-408.)

IPC (Industrial Personal Computer) on esimerkiksi CANopen ja/tai Ethernet liitännöillä varustettu teollisuussovelluksiin suunniteltu tietokone. Sen tehtävänä on tiedonkeruu, automaattinen työnhallinta, graafisen käyttöliittymän tuottaminen sekä systeemin virheenhallinta.

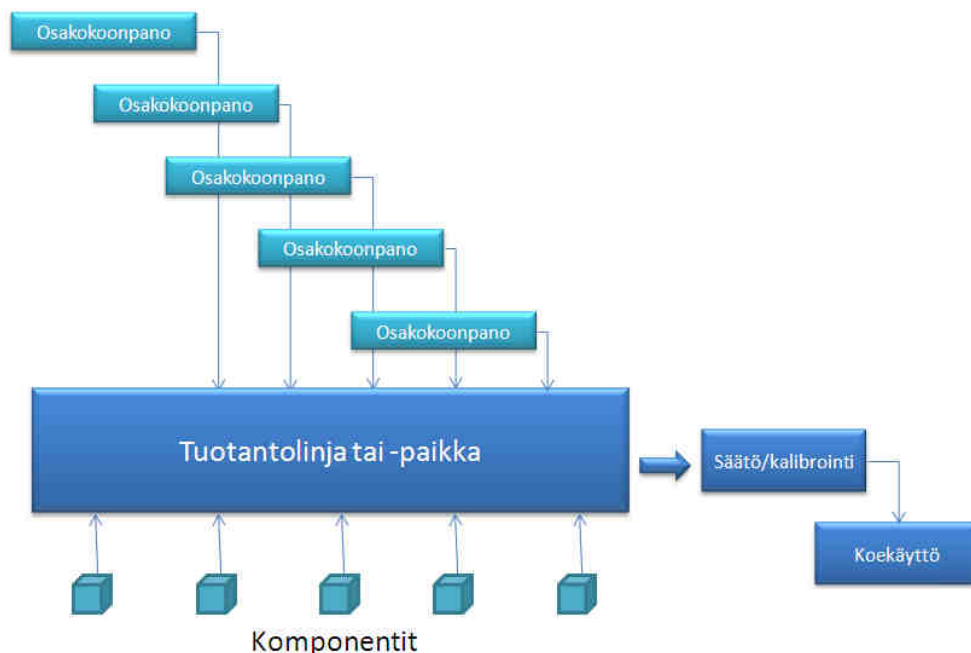
HMI-laitteet (Human/Machine Interface) ovat järjestelmän niitä komponentteja, joiden avulla käyttäjä käyttää järjestelmää. HMI-laitteet yhdessä muodostavat käyttöliittymän, joka muodostaa koneen ja käyttäjän välisen rajapinnan. HMI-laitteisiin kuuluvat

muun muassa näytöt, ohjaimet sekä muut koneen ohjaukseen tarkoitetut komponentit. HMI-laite kytketään suoraan PLC:n sisääntuloihin tai ne sisältävät I/O-yksikön, jonka avulla laite voidaan kytkeä suoraan CANopen-väylään.

2.2 Työssä tarkasteltavat tuotantoprosessit

Työssä tarkasteltavat tuotantoprosessit on jaettu kahteen osaan: linjaan A sekä linjaan B. Linjalla B laitteiden loppukokoonpano on jaettu 12 eri tuotantopaikkaan. Linjalla A loppukokoonpano – tarkasteltavien laitteiden osalta – tapahtuu paikkakokoonpanona, missä laite valmistuu alusta loppuun yhdessä tuotantoruudussa.

Linjojen erilaisuus johtuu pääasiassa laitteiden rakenne-eroista. Linjan A laitteet ovat rakenteeltaan monimutkaisempia ja käytännössä jokainen laite on räätälöity asiakkaiden tarpeita vastaavaksi. Linjalla B laitteet taas ovat keskenään enemmän samanlaisia, jolloin myös tuotantoprosessia on enemmän standardoitu. Laitteiden B läpimenoaika on näin huomattavasti lyhyempi kuin laitteiden A ja siten myös niiden tuotantovolyymi on huomattavasti linjan A tuotantovolyymia suurempi. Kuva 2.2 havainnollistaa tarkasteltavien laitteiden tuotantoprosessia hyvin karkealla tasolla. Kuvassa on esitetty vain pieni osa todellisista työn vaiheista, mutta periaate kaikkialla tuotannossa on sama. Tuotantolinjaa tai -paikkaa kutsutaan työn vaihemallissa loppukokoonpanoksi, jota osakokoonpanot tukevat. Loppukokoonpanossa pyritään hyödyntämään mahdollisimman paljon valmiita moduuleita (osakokoonpanoja), jotka tehdään joko itse tai alihankkijalla.



Kuva 2.2. Tarkasteltavien laitteiden yksinkertaistettu tuotantoprosessi.

Osakokoonpanojen ja komponenttien toimituksesta tuotantolinjalle huolehtivat keräilijät. Heidän tehtävänä on ajoittaa materiaalivirta tuotantolinjalle oikea-aikaisesti. Myöhästynyt toimitus aiheuttaa työn hidastumista tai jopa seisauksia. Samoin liian aikainen

toimitus tukkii työskentelytilaa ja siten myös hidastaa työskentelyä. Pienten komponenttien – kuten pultit, mutterit ja nipat – saannista huolehtivat asentajat itse. Nämä komponentit sijaitsevat tarvikehyllyissä tuotantolinjojen vieressä ja niiden riittävydestä huolehditaan kahden laatikon periaatteella.

2.3 CANopen integrointialustana

CANopen on CAN-väylään perustuva – myöhemmin myös Ethernet:iin perustuva (POWERLINK) – väyläjärjestelmä erilaisiin automaatiosovelluksiin. Tämän luvun tarkoitus antaa lukijalle erittäin lyhyt yleiskatsaus siitä, mitä CANopen sisältää ja mitä mahdollisuuksia se tarjoaa. Yksityiskohdista kiinnostunut lukija voi tutustua kunkin luvun tai kappaleen lopussa oleviin lähdeviitteisiin. Luvulla on tärkeä rooli työn johtopäätösten kannalta: kuten myöhemmin havaitaan, *monilta tuotannon ongelmilta olisi välttytty noudattamalla tässä luvussa kuvattua CANopen hallintaprosessia*. Luku on jaettu seitsemään osaa: hallintaprosessi (luku 2.3.1), suunnittelutiedostot (2.3.2), työkalujen kytkeytyminen toisiinsa (2.3.3), objekti kirjasto (2.3.4), parametrien hallinta (2.3.5), laiteprofiilit (2.3.6) ja protokollat (2.3.7), fyysinen kerros (2.3.8).

2.3.1 Hallintaprosessi

CANopen ei määrittele ainoastaan tiedonsiirtoa, vaan lisäksi hajautettujen järjestelmien hallintaprosessin, hallintaan tarvittavat tiedostoformaatit sekä tavan kytkeä eri työkaluohjelmat yhtenäiseksi työkaluketjuksi. Alla oleva kuva 2.3 esittää CANopen hallintaprosessin keskeisimmät osat ja liitännät muuhun suunnitteluun.



Kuva 2.3. CANopen hallintaprosessin eri vaiheet.

Sovellusrajapintojen määrittelyllä voidaan saavuttaa modulaarisen suunnittelun edut uudelleenkäytettävien rajapintamäärittelyjen kautta. CANopen profiilitietokantoja hyödyntämällä voidaan sovellusalustakohtaisia (esim. PLC:t) ja sovelluskohtaisia rajapintoja käsitellä erillisinä ryhminä. Edelleen eri sovelluksien rajapintoja voidaan tarvittaessa hallita omina ryhminään. (CiA-306-2.)

Solmujen rajapintojen koostaminen tapahtuu edellisessä vaiheessa laadittuja sovelluskohtaisia profiilikantoja yhdistelemällä yhdeksi, kokonaisen solmun rajapintaa kuvaavaksi EDS-tiedostoksi. Yhdessä solmussa voi olla ajossa useita sovelluksia, minkä rajapintoja voidaan hallinnoida erillisinä. (CiA-306-1, CiA-306-2.)

Järjestelmärakenteen kuvaus -vaiheessa määritellään järjestelmään tai osajärjestelmään kuuluvat solmut ja nimetään ne sovelluksen mukaisesti. Solmujen toiminnallisuus tuodaan projektiin EDS-tiedostojen avulla. COTS-solmujen valmistajat toimittavat EDS-tiedostot ja sovellusaloille EDS-tiedostot saadaan edellisen vaiheen lopputuloksena. (CiA-306-1, CiA-306-3.)

Signaalien kytkentä -vaiheessa määritellään signaali-kytkennät järjestelmän eri solmujen välillä sovellusvaatimusten mukaisesti. Kytkentöjen ohella määärätty, miten signaalit jakautuvat viestikehyksiin. Lisäksi tässä vaiheessa määritellään viestikehysten lähetystyypit ja -välit sekä määritellään verkon käynnistystapa. (CiA-301, CiA-302-2, CiA-302-3, CiA-302-4, CiA-401, CiA-402, CiA-404, CiA-406, CiA-408, CiA-417, CiA-421, CiA-422, CiA-425, CiA-447.)

Parametrien kytkentä tehdään yleensä muistin säästämiseksi, sillä tyypillisesti parametreja on niin paljon, ettei käytössä oleva muisti tai kapasiteetti riitä niiden käsittelemiseen. Järjestelmän tai osajärjestelmän parametreja käsittelevän solmun tarvitsemat parametrit merkitään muiden solmujen DCF-tiedostoihin, mistä niiden osoittamiseen tarvittavat tiedot saadaan automaattisesti kerättyä. (CiA-306-1, CiA-306-3.) Parametrien osoitukseen tarvittavat funktiolohkot ohjelmoitaville logiikoille on standardoitu, joten ainoastaan niiden käyttöön tarvittavat parametrit tarvitsee tuoda sovellus- tai PLC-ohjelmaan. (CiA-314.)

Sovelluskohtaisten parametriarvojen määrittelyllä kuvataan mahdollisimman tarkasti yleiskäyttöisten komponenttien sovelluskohtaiset ominaisuudet. Komponenttien oletusasetukset on määriteltä laiteprofiileissa, mutta ne ovat liian karkeita tiettyä sovellusta varten. Sovelluskohtaisilla arvoilla kuvataan siis oletusarvoja tarkemmin se, miten komponentti käyttäytyy sovelluksessa. Toisin sanoen vaiheen tarkoitus on virittää parametrit tiettyä sovellusta varten sopivaksi. Parametrit voidaan asettaa laskennallisesti tiettyyn tarkkuuteen, mutta riittävään tarkkuuteen päästään joskus vasta prototyyppien testausvaiheessa.

2.3.2 Suunnittelutiedostot

Tässä luvussa esitellään CANopen-suunnittelutiedostot. Lisäksi kuvataan lyhyesti niiden käyttötarkoitus ja sisältämä informaatio.

CPD (CANopen Profile Database) on yksittäisen laiteprofiilin tai muuten määritellyn toiminnallisuuden vaatimusten mukainen kuvaus objekti kirjastosta, joka on alun perin

kehitetty EDS-tiedostojen testausta varten. Sen tehtävänä on helpottaa EDS-tiedostojen luontia ja tarkastusta. Profiilitietokannalla voidaan kuvata yksi tai useampi objekti ja kullekin objektille voidaan määritellä erilaisia attribuutteja, mille voidaan määritellä joko kiinteät arvot tai sallitut vaihteluvälit. Objekti voi olla signaali tai parametri. (CiA-306-2.)

EDS (Electronic Data Sheet) kuvaa yhden solmun tukemat ominaisuudet sekä rajapinnan kokonaisuudessaan. Se sisältää solmun tyyppin (laiteprofiilin) ja tarvittavat tuotetiedot, kuten toimittajan, tuotekoodin, version sekä sarjanumeron. Käytännössä EDS kuvaa siis koko solmun objektikirjaston rakenteen, jonka jokainen valmistaja laati solmun mukana toimitettavaksi. Niille parametreille, joille profiilitietokannoissa määritellään ainoastaan vaihteluvälit, määrätään viimeistään EDS-tiedostoa määritettäessä minimi-, maksimi- ja oletusarvot. Lisäksi EDS-tiedostoon voidaan sisällyttää tiedostopolkuja mahdollisten parametrien asettelu- tai muiden apuohjelmien käynnistämiseen. (CiA-306-1, CiA-306-3.)

DCF (Device Configuration File) -tiedoston tuottaa tyypillisesti järjestelmäsuunnittelu- tai verkkosuunnitteluohjelmisto EDS-tiedostojen perusteella. DCF-tiedosto sisältää kaikki EDS-tiedoston sisältämät tiedot. Lisäksi DCF sisältää tiedot solmun loogisesta sijainnista kohdejärjestelmässä (network name, network-ID, node name ja node-ID ja bit rate) sekä määrittelee parametreille sovelluskohtaiset asetusarvot, sisältäen sekä tiedonsiirto- että sovellusparametrit. (CiA-306-1, CiA-306-3.)

XDD (Xml Device Description) on XML -muotoinen EDS-tiedosto. XDD on kuten EDS -tiedosto, mutta sisältää joitain laajennuksia. Tiedostoformaatti ei kuitenkaan ole vielä täysin valmis. (CiA-311.)

XDC (Xml Device Configuration) on XML -muotoinen DCF-tiedosto. XDC on kuten DCF-tiedosto, mutta sisältää joitain laajennuksia. Tämäkään tiedostoformaatti ei ole vielä täysin valmis. (CiA-311.)

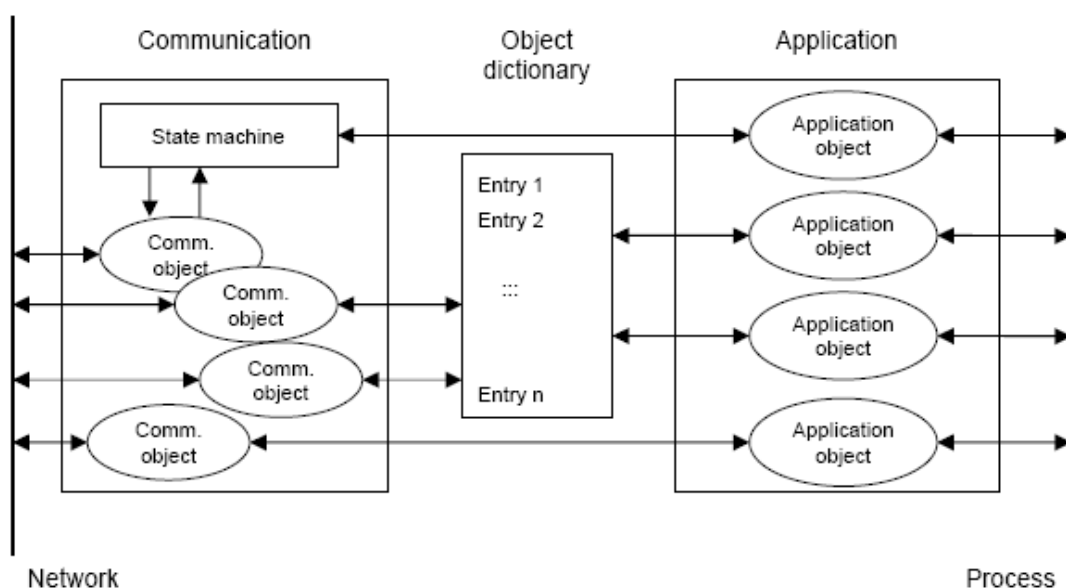
Nodelist.cpj on tiedosto, joka sisältää joitakin tietoja kaikista verkossa olevista solmuista. Minimissään tiedostosta voidaan hakea solmujen DCF/XDC-, EDS/XDD- tiedostot. Nodelist.cjp voidaan ymmärtää DCF-tiedostojen sisällysluetteloksi. (CiA-306-3.)

2.3.3 Työkaluohjelmien kytkeminen toisiinsa

CANopen määrittelee myös miten järjestelmäsuunnitteluohjelman ulkopuolisten työkaluohjelmien käynnistyspolut voidaan kuvata EDS- ja DCF -tiedostoissa. Määrittelyjen avulla ulkopuoliset työkalut – mukaan lukien eri CAD-ohjelmistot – saadaan toimimaan saumattomasti yhdessä järjestelmäsuunnittelutyökalujen kanssa. (CiA-306-3.)

2.3.4 Objektikirjasto

CANopen laitteen toiminta perustuu sovellusosan ja kommunikointiosan välissä sijaitsevaan objektikirjastoon (Object Dictionary), joka toimii keskitettynä tietovarastona sekä parametri- että signaaliobjekteille (kuva 2.4). Objektikirjasto sisältää kaikki ne tarvittavat laitetiedot, joilla on vaikutusta kommunikointirajapintaan, tilakoneeseen sekä laitteen sovellusosaan. Se toimii tiedonvälityspaikkana sovellusohjelmiston ja tiedonsiirtoprotokollan/protokollaohjelmiston välillä. Objektikirjasto tarjoaa mittaustulokset väylän käyttöön ja samalla ottaa vastaan ohjauskäskyjä väylältä, sekä toimii parametrintirajapintana sovelluksen ja kommunikointiyksikön välillä.



Kuva 2.4. CANopen-laitemalli (CiA-301).

Objektikirjaston avulla voidaan hallita kaikkea CANopen solmun toimintaa väylältä käsin. Se on jaettu 65535 indeksiin ja kukin indeksi voi sisältää korkeintaan 254 alaindeksiä. Pakolliset objektikirjaston sisältämät objektit määritellään paloittain tiedonsiirtopalveluiden (CiA-301), lisäpalveluiden (CiA-302, CiA-304, CiA-314) ja laiteprofiilien (CiA-401, CiA-402, CiA-404, CiA-406, CiA-408) toimesta.

2.3.5 Parametrien hallinta

Objektikirjasto sisältää sekä liikennöintiin että sovelluksiin liittyvät parametrit. Se on kuitenkin vain ajonaikainen muistinvarainen tietorakenne ja siksi parametreille on tarjottava myös haihtumaton tallennuspaikka, mihin muutokset voidaan tallentaa ja mistä parametrit voidaan lukea solmua käynnistettäessä. Tällä parametrien hallintaprosessilla varmistetaan siis se, että tarvittavat parametritiedot säilyvät myös ajon ulkopuolisena aikana. Parametreja voidaan asettaa itse järjestelmässä ja/tai sen ulkopuolisilla työkaluilla. (CiA-301, CiA-306-1.)

2.3.6 Laiteprofiilit

CANopen:n suurimmat edut konfiguraatioiden hallinnan lisäksi muodostuvat sen laiteprofiileista. Nykyään koneenrakentajat voivat hankkia suuren osan komponenteista ulkoiselta toimittajalta ja toimivat näin järjestelmäintegraattorina, jonka tehtävä on rakentaa toimiva kone useiden eri toimittajien standardinmukaisista komponenteista. CANopen:n laiteprofiilit määrittelevät useimmille vakiotoiminnallisuuksille standardinmukaiset rajapinnat, jolloin samankaltainen komponentti voidaan valita usean eri valmistajan tuotteista. Riippuvuus yhdestä toimittajasta vähenee ja huolto helpottuu, kun rikkoutunut komponentti voidaan nopeasti korvata uudella. Lisäksi hallintaprosessin ja konfiguraatitiedostojen, sekä niitä hyödyntävien ohjelmistojen avulla on mahdollista hallita tehokkaasti (osa)järjestelmien alihankintaa, tuotantoa sekä huoltoa.

CANopen laiteprofiileja ovat muun muassa yleiskäyttöiset I/O-laitteet (CiA-401), sähkökäytöt (CiA-402), paine- ja lämpötila-anturit (CiA-404), pulssi- ja absoluuttianturit (CiA-406) sekä hydraulikäytöt (CiA-408). Laiteprofiilien lisäksi CANopen määrittelee osajärjestelmä- tai järjestelmätason keskeisimpiä toiminnallisuuksia sovellusprofiileina. Näitä ovat: matkustajatietojärjestelmät (CiA-447), hissit (CiA-417), raideliikennekalustot (CiA-421), jäteautot (CiA-422) ja lääketieteelliset laitteet (CiA-425). Vaikka standardeja on monia, CANopen sisältää mahdollisimman vähän kiinteästi määriteltyjä peruspalveluita, mikä helpottaa järjestelmän mukauttamista sovelluksen tarpeen mukaan. Laiteprofiileilla parannetaan eri toimittajien samankaltaisten solmujen välistä yhteensopivuutta.

2.3.7 Protokollat

CANopen toteuttaa jokaiselle väyläjärjestelmälle pakolliset peruspalvelut useiden protokollien avulla. Jos kuitenkin edellä kuvattu suunnittelu on tehty huonosti tai jätetty tekemättä kokonaan, pelkkien protokollien tuoma lisähyöty suhteessa muihin tiedonsiirto menetelmiin on vähäinen. CANopen sisältää seuraavat protokollat, jotka on jaoteltu niiden käyttötarkoituksen mukaan neljään eri kategoriaan:

Solmujen tilanhallintaan liittyviä protokollia ovat **NMT** (Network Management) -protokolla, jonka avulla NMT-master voi käynnistää CANopen verkkoon kytketyt solmut. Sitä käytetään käynnistuksen yhteydessä ja poikkeustilanteiden hallintaan ajon aikana. NMT error control koostuu boot- ja heartbeat -protokollista. CANopen-solmu ilmoittaa **Boot** -protokollalla (Bootstrap) käynnistymisestään muille samaan väylään kytketyille solmuille. **Heartbeat** -protokollan avulla CANopen solmu voi tuottaa tietoa omasta toimintatilastaan muille samaan väylään kytketyille solmuille. **Node guarding**-protokolla on vanhentunut ja on nykyisin korvattu heartbeat-protokollalla. (CiA-301.)

Parametrienhallintaan liittyy **LSS** (Layer Settings Services)-protokolla, joka sisältää palvelut solmun liikennöintinopeuden ja solmutunnisteen asettamiseksi hallitusti. LSS

on node-ID:n ja bit-rate:n asettelun suositeltavin tapa. (CiA-305) Lisäksi tähän ryhmään kuuluu **SDO** (Service Data Object)-protokolla, joka mahdollistaa arvojen lukemisen CANopen solmun objektikirjastosta sekä myös kirjoittamisen objektikirjastoon. SDO on siis objektikirjaston osoitusprotokolla, joka toimii kaikkeen, mitä voidaan hallinnoida objektikirjaston kautta – mukaan lukien parametrien tallennus- ja oletusasetusten käyttöönottokomennot. (CiA-301.)

Tapahtumavälitys pitää sisällään **EMCY** (EMergenCY) -protokollan, jonka avulla CANopen-verkossa voidaan siirtää tapahtumatietoja, tyypillisesti virheilmoituksia tai ilmoituksia virhetilojen poistumisesta (CiA-301.)

Signaalinen päivitykseen liittyviä protokollia ovat: **TIME**-protokolla, jonka avulla voidaan tuottaa globaali aikatieto CANopen-verkkoon sekä **SYNC** (Synchronization)-protokolla, jonka avulla PDO-kehysten lähetys voidaan tahdistaa keskitetysti. **PDO** (Process Data Object)-protokollan avulla päivitetään prosessisignaalien tiloja solmujen objektikirjastojen välillä. **MPDO** (Multiplexed PDO) -protokolla on PDO-kehysten erikoistapaus, missä itse signaalien lisäksi siirretään osoitusmuodosta riippuen tieto joko signaalin lähteestä tai kohteesta (CiA-301.) **SRDO** (Safety-Related Data Object) on taas PDO-kehysten erikoistapaus, missä samat signaalit lähetetään kahdessa peräkkäisessä kehyksessä toistensa komplementteina suuremman turvatason saavuttamiseksi (CiA-304.)

2.3.8 Fyysinen kerros

Fyysinen kerros kuvataan CAN-väylää käsittelevässä standardissa ISO-11898, joka määrittelee kaikki verkon sähköiset, mekaaniset ja loogiset osat. ISO-11898-1 ei kuitenkaan riittävän tarkasti määrittele bittitasen ajoitusparametreja, joten ne tarkennetaan standardissa CiA-301 (ISO-11898-1.) CANopen määrittelee myös liittimiä ja niiden pinnijärjestyksiä (CiA-303, ISO-11898-2.)

Yhteenvedona CANopen standardiperheestä voidaan todeta, että se tarjoaa integrointialustan hajautettujen ohjausjärjestelmien rakentamiseen. Sitä ei ole suunniteltu yhtä tiettyä tarkoitusta varten, vaan sen laiteprofiilijoukko on sovellettavissa hyvin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Vain pieni osa peruspalveluista on pakollisia, mikä tekee CANopen:sta hyvin skaalautuvan. Standardinmukainen suunnitteluprosessi ja -tiedostot *mahdollistavat* myös suunnitteluomaisuuden tehokkaan uudelleenkäytön sekä tiedon jakamisen esimerkiksi hydraulikka-, sähkö-, ja mekaniikkasuunnittelun kanssa. Tiedostojen lisäksi CANopen hallintaprosessi määrittelee prosessien eri vaiheiden suunnittelutyökaluille roolit, jotka muodostavat työkaluketjuja yhtenäisten rajapintamäärittelyjen ansiosta.

3 TOIMINTOPERUSTEINEN KUSTANNUSLASKENTA

”Informaatio ei ole tietoa. Ilman teoriaa me emme voi hyödyntää meille tulevaa informaatiota. Ilman tietoa kokemus ja esimerkit eivät opeta mitään. Ilman teoriaa voimme ainoastaan kopioida.”

- W. Edwards Deming (1900-1993) (Laatu käsitteenä 2011.)

Kannattava yritystoiminta edellyttää hyvää taloudenohjausta sekä siihen liittyvää tarkkaa tulojen ja menojen seurantaa. Liiketoiminnasta saatujen tuottojen on pitkällä aikavälillä ylitettävä tuotteiden tai palveluiden valmistuksesta syntyvät menot tai muussa tapauksessa toiminta on tappiollista ja yritys ajautuu väistämättä vararikkoon. Tärkeä osa taloudenohjausta on johdon laskentatoimi ja ennen kaikkea kustannuslaskenta. Kustannuslaskennan ensisijainen tehtävä on tuottaa rahamääräistä tietoa päätöksenteon tueksi. Neilimon & Uusi-Rauvan (2005, s. 37) tiivistävät kustannuslaskennan perimmäiseen tarkoituksen seuraavasti: sen tehtävä on vastata siihen kysymykseen, mitä tuotteen valmistus yritykselle maksaa. Laskentakohteen kannattavuuden arviointi ilman selkeää kuvaa tuotteen kustannusrakenteesta on vähintäänkin haastavaa ja kustannuslaskentaa pidetään talousjohdon yhtenä keskeisimmistä tehtävistä (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 37.) Lumijärvi et al. (1995, s. 15) ovat osuvasti todenneet, että ”*mitä ei mitata, sitä ei voida johtaa*”. Tämän perusteella voidaan todeta, että kustannuslaskenta mittaa tuotteen aikaansaamisesta syntyviä kuluja ja tuottaa sitä kautta tietoa yrityksen päätöksenteon tarpeisiin.

Työn tavoite on tarkastella kohdeyrityksen uusimman sukupolven laitemallin tuotantongelmien taustalla olevia syitä automaation ja sähköön osalta. Tarkastelu ei rajoitu ainoastaan havaittuihin ongelmiin, vaan myös niiden aiheuttamiin kerrannaisvaikutuksiin tuotantoprosessissa. Järkevin tapa tämän toteuttamiseen on muuttaa havaitut ongelmat rahamääräiseksi tiedoksi. Tässä työssä ongelmia tarkastellaan toimintoperusteisen kustannuslaskennan avulla. Tiedon puutteesta johtuen laskentaa sovelletaan kuitenkin hyvin karkealla tasolla. Aluksi perehdytään perinteisen kustannuslaskennan kritiikkiin sekä toimintaperusteisen kustannuslaskennan syntyyn. Johdannon jälkeen käsitellään toimintoperusteisen kustannuslaskennan etuja (3.1), mistä siirrytään tarkemmin toimintolaskennan käsitteistöön (luku 3.2) sekä laskentaperiaatteeseen (3.3). Luvussa 3.4 käsitellään toimintolaskennan käyttöönottoprosessi. Kiireinen lukija voi halutessaan siirtyä suoraan lukuun 3.5, jossa toimintolaskennan teoriaosuus on tiivistetty lyhyeksi yhteen-

vedoksi. Tämän luvun tarkoitus on luoda laskennan teoreettinen pohja työn myöhempiä empiiristä osuutta varten. Teoriaosuus on kirjoitettu alan kirjallisuuden sekä tutkimusraporttien pohjalta.

3.1 Toimintolaskennan edut

Perinteisen kustannuslaskennan kritiikki alkoi yleistyä 1980-luvun loppupuolella, kun yritykset alkoivat kiinnittää tarkempaa huomiota niin sanottujen välillisten kustannusten kohdistamisongelmiin (Kaplan 1988.) Ennen kuin asiaa voidaan tarkemmin tarkastella, on lukijan hyvä palauttaa mieleen kustannuslaskennan peruskäsitteet. Perinteisesti kustannukset on jaettu muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin sen mukaan, miten ne käyttäytyvät suoritemäärän muuttuessa. Muuttuvat kustannukset kasvavat suoritemäärän kasvaessa, kun taas kiinteät kustannukset pysyvät samana tuotantovolyymista riippumatta. Muuttuvat ja kiinteät kustannukset jaetaan edelleen välittömiin ja välillisiin kustannuksiin. Välittömiä kustannuksia ovat nimensä mukaisesti ne, joiden voidaan selkeästi osoittaa aiheutuvan jostain tietyistä laskentakohteesta. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi työ- ja materiaalikustannukset. Välittömät kustannukset ovat luonteeltaan usein muuttuvia. Välillisiä kustannuksia taas ovat ne, joita ei suoraan voida kohdistaa tietylle laskentakohteelle. Näitä ovat esimerkiksi kiinteistön lämmityskulut, vuokrat, siivouskulut, hallinnointikulut sekä sitoutuneen pääoman korot. Mikään näistä kustannuksista ei aiheudu ainoastaan tietyistä tuotteista, ja siksi niiden sanotaan olevan välillisiä. Usein välilliset kustannukset ovat kiinteitä. (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, ss. 55–58.)

Tuotekohtaisessa kustannuslaskennassa kustannuksia on kohdistettu tuotteille aiheuttamisperiaatteen mukaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että tietyille suoritteille kohdistetaan ainoastaan ne kustannukset, jotka suorite aiheuttaa. Välittömien kustannusten kohdalla tämä on usein suoraviivaista, mutta ongelmaksi nousevat välilliset kustannukset (yleiskustannukset) ja niiden kohdistus laskentakohteille. Perinteisessä kustannuslaskennassa tämä on toteutettu jakamalla yritys eri kustannuspaikkoihin, joille määritellään yleiskustannuslisät tai -kertoimet (yk-lisät). Näiltä yleiskustannuspaikoilta välilliset kustannukset voidaan edelleen kohdistaa laskentakohteelle määritettyjen kertoimien avulla. Yleiskustannuslisien muodostamisesta ja kohdistamisesta tarkemmin lähteestä (Uusi-Rauva & Paranko, 1998, ss. 12–30.) (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, ss. 113–116.)

Luvun alussa mainittu perinteisen kustannuslaskennan kritiikki pohjautuu juuri näihin yleiskustannuksiin ja niiden kohdistamisongelmiin. Bainesin (1992) mukaan yleiskustannuksia on kohdistettu tuotteille muuttuvien kustannusten, kuten esimerkiksi työtuntien suhteessa, vaikka näiden välille ei voida löytää minkäänlaista syy-yhteyttä. Tällöin aiheuttamisperiaatetta ei ole noudatettu ja sen myötä laskenta voi antaa tuotteen kustannusrakenteesta hyvinkin vääristyneen kuvan. Lisää vääristymää laskennassa on aiheuttanut työvoimakustannusten väheneminen suhteessa muihin kustannuksiin, kun tuotan-

totekniikan kehittyessä yhä suurempi osa ihmisen tekemästä työstä on voitu korvata koneella. Tämä kehitys on nostanut yk-lisiä ja siten kasvattanut välillisten kustannusten kohdistamisongelmaa (Alhola 1998, s. 19). Uusi-Rauva & Paranko (1994) toteavat myös kustannuspaikkojen olevan monesti liian suuria, mikä vääristää laskelmia entisestään. He kritisoivat myös markkinointi- ja jakelukustannusten kohdistamisen periaatteita, joiden kustannukset riippuvat usein paljolti jakelukanavasta sekä tarkasteltavasta tuotteesta. Perinteinen kustannuslaskenta ei kuitenkaan ota tätä huomioon, vaan kustannusten jako tapahtuu volyymiperusteisesti.

Perinteistä kustannuslaskentaa on kritisoitu myös sen karkeasta kustannusten jaottelusta muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin. Käytännössä kuitenkin kaikki kustannukset ovat muuttuvia jonkun muuttujan suhteen. Esimerkiksi kiinteiksi kustannuksiksi mielletyt tilavuokrat ja sitoutuneen pääoman korot ovat muuttuvia ajan suhteen. Kustannuksissa on liikaa keskitytty muuttuviin kustannuksiin, jolloin kiinteät kustannukset jäävät helposti vähemmälle huomiolle. (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, ss. 143–144.) Cooper kritisoi vuonna 1989 kirjoittamassa artikkelissaan (Cooper 1989) kustannuslaskennan tuottavan päätöksentekijöille vääristynyttä tai epärelevanttia tietoa sekä laskennan kohdistuvan asioihin, joilla ei oikeasti ole merkitystä. Hänen mukaansa valitut strategiat voivat konsepteiltaan olla erinomaisia, mutta ne perustuvat vääristyneeseen kustannustietoon. Neilimo & Uusi-Rauva (2005, s. 143) puolustavat kuitenkin perinteistä kustannuslaskentaa toteamalla sen kritisoinnin johtuvan siitä, että perinteistä teoriaa ei osata soveltaa oikein.

Näiden ongelmien pohjalta on syntynyt toimintoperusteinen kustannuslaskenta (Activity-Based Costing, ABC), joka pohjautuu näkemykseen siitä, että kaikki yrityksen kustannukset ovat peräisin sen toiminnoista. Tuotteet syntyvät erilaisten toimintojen seurauksena, jotka kuluttavat erilaisia resursseja, kuten työvoimaa ja materiaaleja. Resurssit taas synnyttävät kustannuksia, jotka voidaan kohdistaa toiminnoille. Tätä kautta toimintolaskenta auttaa ymmärtämään resurssien kulutuksen ja laskentakohteiden, kuten tuotteiden, palvelujen tai asiakkaiden välistä suhdetta. Sen pyrkimyksenä on löytää perinteistä kustannuslaskentaa loogisempi yhteys tuotteiden ja kustannusten välille.

Sisäisen laskentatoimen tehtävänä on tuottaa tietoa yrityksen ohjaustarpeisiin ja sen tulisi lähteä liikkeelle tulevaisuuden näkökulmasta. Kaikki yrityksessä tehtävät päätökset tehdään paremman tulevaisuuden toivossa, jolloin tieto, jonka pohjalta päätöksiä tehdään, tulisi olla reaaliaikaista. Perinteinen kustannuslaskenta on kuitenkin normaalisti niin sanottua jälkilaskentaa, jossa laskenta pohjautuu aiemmin syntyneisiin kustannuksiin. Tietoa haetaan yrityksen kirjanpidosta sekä muista ulkoisen laskentatoimen raporteista, mistä johtuen laskennan pohja luodaan jo alun perin aiemmin tapahtuneesta tiedosta. Nämä tiedot eivät tue riittävän hyvin tuotekohtaista kustannuslaskentaa, jonka seurauksena laskennan tulokset saattavat vääristyä. Johnson & Kaplan toteavat vuonna 1991 kirjoittamassaan kirjassa ”Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Ac-

counting”, että harva yritys tietää tuotteidensa todelliset kustannukset ja monesti kannattavalta näyttävä tuote saattaa käytännössä olla jopa tappiollinen. Toimintoperusteinen kustannuslaskenta keskittyy kuitenkin yrityksen tämän hetken toimintoihin ja siksi sen tuottama tieto on reaaliaikaista. Toimintoketjujen eli prosessien tarkastelu ja kehittäminen toimii automaattisesti tulevaisuuden näkökulmasta. (Neilimo & Uusi-Rauva 2005; Uusi-Rauva et al. 1994; Seppänen et al. 2002.)

Laskenta ei rajoitu ainoastaan tuotetasolle, vaan tarkastelun kohteena voi käytännössä olla mikä tahansa yrityksen osa, esimerkkeinä asiakas, tulosityksikkö, tuoteryhmä tai maantieteellinen alue. Toimintolaskentaa on kirjallisuudessa käsitelty laajasti eri kirjoittajien toimesta ja sen kehittäjinä on yleisesti pidetty Robert Kaplania ja Robin Cooperia (Jong No & Kleiner 1997.) Cooperin & Kaplanin mukaan (1991) toimintolaskentaa alettiin hyödyntää laajalti 1980 -loppupuolella, mutta Alhola (1998, s. 15) toteaa samantyylisten laskentatekniikoiden olleen käytössä jo 1900-luvun alussa yhdysvaltalaisessa autoteollisuudessa. Suomessa toimintolaskennan perusajatuksia on käytetty jo 1970-luvulta lähtien (Alhola 1998.)

3.2 Toimintolaskennan käsitteitä

Ennen varsinaista kuvausta toimintolaskennan kulusta, on syytä käsitellä tarkemmin sen peruskäsitteitä. Aluksi määritellään mitä toiminnolla tarkasti ottaen tarkoitetaan ja miten toimintoja voidaan luokitella. Toiminnoista siirrytään yrityksen resursseihin ja lopuksi tarkastellaan kustannusten kohdistusperusteita eli kustannusajureita.

3.2.1 Toiminnot

Miksi tarkastella toimintoja perinteisen kustannuspaikkajaon sijasta? Lumijärvi et al. (1995, s. 31) ovat osuvasti todenneet, että toiminnot ovat yrityksen ainoita pysyviä elementtejä, mutta kustannuspaikat muuttuvat organisaatorakenteen muuttuessa. Samoin kustannuslajit voivat muuttua esimerkiksi toimintoja siirrettäessä alihankkijoille. Kuitenkin tekeminen säilyy usein samana vaikka työn suorittaja, suorituspaikka tai suoritus tapa muuttuisivatkin. Toimintolaskennassa koko yritys nähdään joukkona toimintoja, jotka synnyttävät tuotteita ja palveluja. Tästä syystä tuntuu luontealta keskittyä juuri toimintoihin kustannusten aiheuttajina. Oikeastaan kustannukset eivät synny toiminnoista, vaan niiden kuluttamista resursseista. Tärkeää on kuitenkin seurata mihin toimintoihin resursseja kulutetaan.

Kirjallisuudessa toiminto -käsitettä kuvataan kirjoittajasta riippuen monin eri tavoin. Brimson (1991, s. 75) määrittelee toiminnon olevan yhdistelmä ihmisiä, teknologiaa, raaka-aineita, menetelmiä ja ympäristöä, joka aikaansaa tietyn tuotteen tai palvelun. Lumijärven et al. (1995, s. 32) mukaan toiminto koostuu sarjasta toisiinsa liittyviä työtehtäviä, jotka tähtäävät saman päämäärän saavuttamiseen. Alhola (1998, s. 26) taas lähestyy asiaa yrityksen myymien suoritteiden pohjalta. Hänen mukaansa suorite syntyy

erinäisten toimintojen seurauksena. Yhteistä näille kaikille määrittelyille on se, että yksinkertaisesti toiminto kertoo sen, mitä organisaatiossa tehdään (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 149.) Toiminnon määrittelystä on luontevaa siirtyä toimintojen luokitteluun.

3.2.2 Toimintojen luokittelut

Riippuen tuotteen rakenteesta tai esimerkiksi valmistettavuudesta, eri tuotteiden aikaansaamiseen kuuluu eri määrän toimintoja. Monesti se prosessi, jonka seurauksena asiakastarpeesta muodostuu valmis tuote, sisältää suuren määrän eri toimintoja. Toimintojen kartoitus voi olla työläs prosessi, jota voidaan kuitenkin helpottaa jakamalla toiminnot eri kategorioihin toiminnon laajuuden sekä tason perusteella. Koska toimintolaskenta tuottaa tietoa tuotetasolta jopa liiketoimintayksikölle asti, eri laskentatilanteissa on syytä huomioida eri tason toimintoja. Äskeisen pohjalta toiminnot voidaan järjestää esimerkiksi kuvan 3.1 mukaisesti. Tässä Alholan (1998) jaottelussa toiminnot on jaettu eri luokkiin niiden laajuuden mukaisesti.



Kuva 3.1. Esimerkki toiminto- ja kustannushierarkiasta (mukailtu lähteistä Alhola 1998, s. 41 sekä Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 150.)

Alhola on jakanut toiminnot neljään pääluokkaan: yritystason-, tuotetason-, erätason- sekä yksikkötason toiminnot. Neilimo & Uusi-Rauva (2005, s. 150) ovat lisänneet jaotteluun vielä asiakastason toiminnot. Tässä ryhmittelyssä yritystason toiminnot ovat niin sanottuja ylimmän tason toimintoja, joiden kustannusten määrä ei riipu valmistettavien tuotteiden määrästä. Nämä toiminnot mahdollistavat yrityksen olemassaolon ja niiden kustannukset poistuvat vasta kun yritys lopetetaan. Esimerkiksi yrityksen johtaminen ja kirjanpito kuuluvat tähän kategoriaan.

Asiakastason toiminnot mahdollistavat maantieteellisesti eri paikoissa sijaitsevien asiakkaiden kustannusten tarkastelun. Usein yrityksellä on asiakkaita monessa eri maassa,

joihin jokaiseen liittyy omat toiminnot. Tämän vuoksi kustannuksia on pystyttävä jakamaan aiheuttamisperiaatteen mukaisesti oikeille asiakkaille. Joissain tapauksissa kustannuksia voidaan kohdistaa tuotetason ohi suoraan asiakkaille.

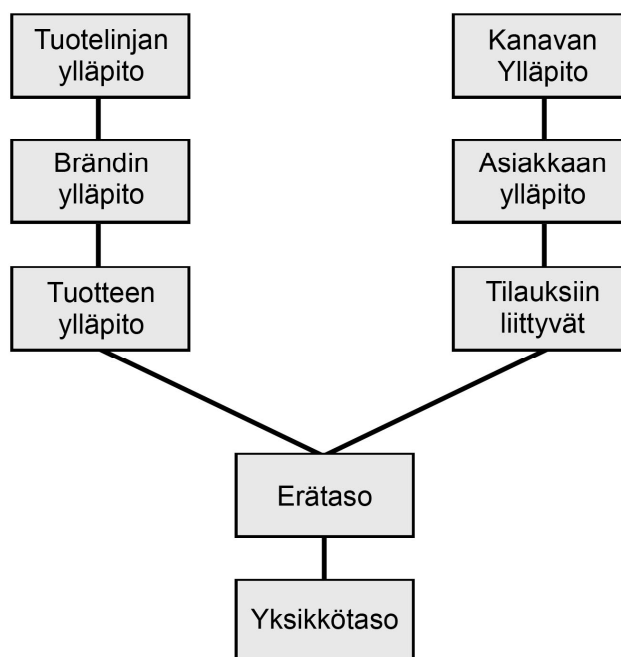
Tuotetason toiminnot sisältävät esimerkiksi tuotteen markkinoinnin ja suunnittelun. Tällä tasolla kustannukset riippuvat tuotevalikoiman laajuudesta, mutta eivät yksittäisen tuotteen tuotantovolyyymistä.

Erätason toiminnot liittyvät nimensä mukaisesti valmistuseriin. Niiden kustannuksiin ei myöskään vaikuta tuotantomäärä, vaan enemmänkin valmistettavien erien määrä. Mitä enemmän erilaisia valmistettavia eriä on, sitä enemmän tarvitaan tuotantoa valmistavia toimintoja (esimerkiksi koneiden asetuksia), jotka kuluttavat resursseja. Kustannukset jaetaan eri tuotteille esimerkiksi asetusten määrän tai ajan suhteen, eikä siis tuotantovolyymin suhteen.

Alimman tason eli yksikkötason toiminnot ovat riippuvaisia tuotantomääristä. Näitä toimintoja kuluttavat kaikki yksiköt kuten tuote, puolivalmiste tai palvelu. Mitä enemmän tuotteita valmistetaan, sitä enemmän tarvitaan toimintoja. Tähän kategoriaan kuuluvat esimerkiksi tuotteen kokoonpano sekä yksittäisen asiakkaan palvelu. Edellä esitetty jaottelutapa on yksi, mutta ei suinkaan ainut tapa jaotella toimintoja. Kirjallisuudessa jaotteluperusteita on monia, joista tähän työhön on valittu vain muutamia. (Alhola 1998; Cooper & Kaplan 1991; Lumijärvi 1995; Neilimo & Uusi-Rauva 2005.)

Toimintojen hierarkkinen jaottelu helpottaa ymmärtämään resurssien sekä niitä kuluttavien toimintojen välistä suhdetta. Yksikkötason kustannukset kuten työstä, materiaaleista ja energiasta aiheutuvat kustannukset on syytä erottaa ylemmän tason toiminnoista, jotta halutulle laskentakohteelle voidaan kohdistaa kustannukset järkevin perustein. Jos esimerkiksi tuote- tai erätason kustannuksia jaetaan valmistettujen tuotteiden määrällä, tuottaa kustannuslaskenta heti vääristynyttä tietoa, koska tämän tason kustannukset eivät ole riippuvaisia tuotantovolyyymistä. Tietyn tasoiselle toiminnolle on valittava siis tietyn tasoinen kustannusajuri, joista myöhemmin lisää. (Cooper & Kaplan 1991.)

Kuten aiemmin on todettu, perinteistä kustannuslaskentaa on kritisoitu sen käytännöstä kohdistaa ”ylemman tason” kustannuksia yksittäisille tuotteille. Perinteisesti esimerkiksi tuotelinjan, tuotemerkin ja jakelukanavan ylläpitokustannuksia on jaettu yksittäiselle tuotteelle tuotantovolyymin suhteen, vaikka näiden välille ei voida löytää aiheuttamisperiaatteen mukaista yhteyttä. Kaplan & Cooper (1998, s. 89) erottelevat ylemmän tason toiminnot erä- ja yksikkötason toiminnoista kuvan 3.2 mukaisesti.



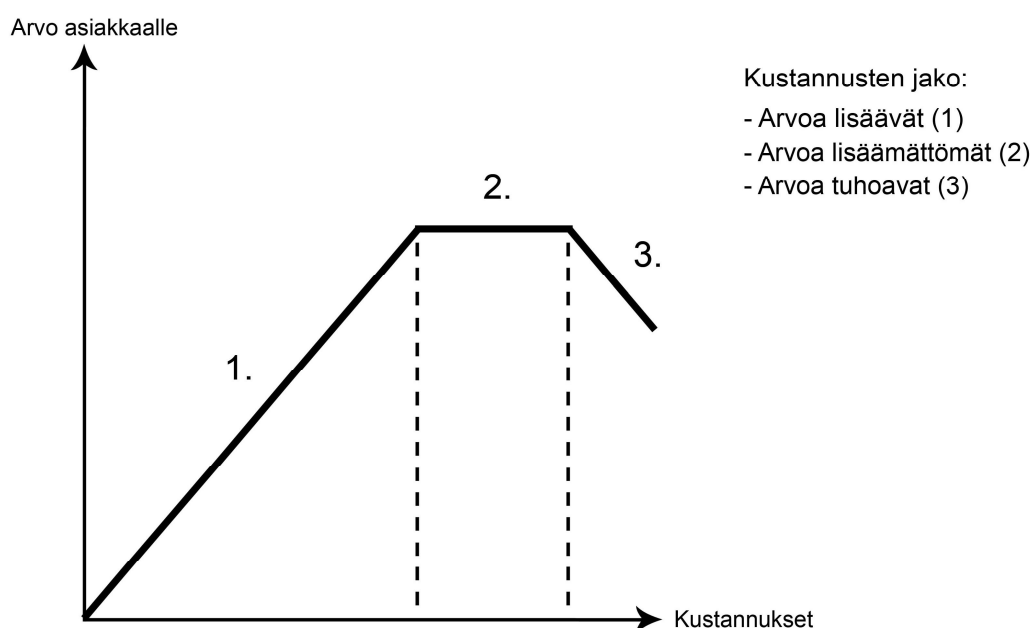
Kuva 3.2. Toimintojen luokittelu Kaplanin & Cooperin mukaan (1998, s. 89.)

Jaottelun tarkoituksena on erottaa tuotteeseen liittyvät toiminnot (vasen haara) asiakas-kohtaisista toiminnoista (oikea haara) sekä nämä kaksi erä- ja yksikkötason toiminnoista. Asiakkaan ylläpitoon liittyvät toiminnot mahdollistavat nimensä mukaisesti asiakassuhteiden säilyttämisen ja kehittämisen, jotka vaativat aktiivista kanavan ylläpitoa ja tilausten käsittelyä. Näiden toimintojen aiheuttamat kustannukset voidaan kohdistaa aina yksikkötasolle asti, mutta niihin käytetyt resurssit eivät ole riippuvaisia yksittäisen tuotteen tuotantovolyymista tai tuotteiden tai tuote-erien lukumäärästä. Tämän vuoksi kohdistamisen perusteena ei voida käyttää yksikkötason ajureita (esimerkiksi tuotantomäärä), kuten perinteisissä kustannuslaskentamalleissa on tehty. Sama periaate pätee tuotteen ylläpitoon liittyviin toimintoihin.

Ylemmän tason, kuten tuotelinjan- tai kanavan ylläpitoon liittyvien toimintojen kustannukset eivät ole riippuvaisia yksittäisistä tuotteista tai tuotantomäärästä, eikä niitä sen vuoksi voida kohdistaa yksikkö- tai erätasolle asti. Kohdistus voidaan sen sijasta tehdä esimerkiksi tietylle tuotelinjalle tai tuotantoyksikölle. Kaplanin ja Cooperin malli kuvastaa hyvin toimintolaskennan periaatetta, minkä mukaan tietyn tasoisten toimintojen aiheuttamia kustannuksia on kohdistettava laskentakohteille saman tason ajureita käyttämällä. (Kaplan & Cooper 1998, ss. 89–91.)

Toimintoja voidaan luokitella myös muuten kuin hierarkiaan perustuen. Eräs erittäin hyödyllinen tapa on jakaa toiminnot kolmeen luokkaan niiden tuottaman lisäarvon mukaisesti. Tässä jaottelussa toiminnot nähdään joko arvoa lisäävinä, -lisäämättöminä tai -

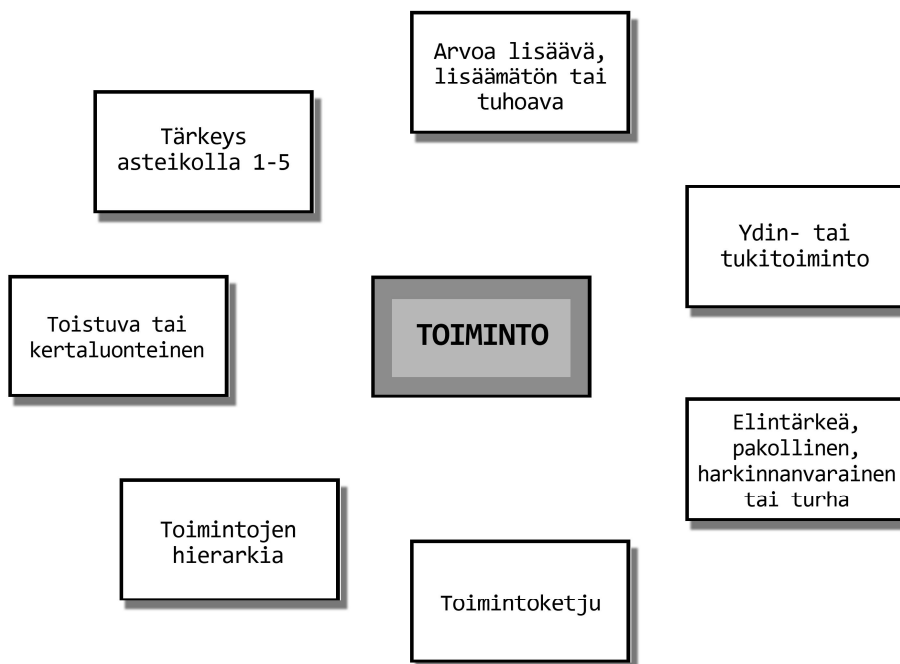
tuhoavina. Esimerkki arvoa lisäävästä toiminnosta on tuotteen kokoonpano. Kaikki kokoonpanossa tehdyt tehtävät vievät tuotetta lähemmäksi sen lopullista muotoa ja siksi lisäävät sen arvoa. Toisaalta taas korjaukset, tarkastukset sekä odottelu ovat arvoa lisäämättömiä toimintoja, joita pitäisi mahdollisuuksien mukaan välttää. Esimerkki arvoa tuhoavasta toiminnosta on kokoonpanossa tapahtuva virhe tai viivästys. Tällainen jaottelu antaa arvokasta tietoa yrityksen toimintatavoista ja ennen kaikkea siitä, mitkä todella ovat niitä toimintoja, jotka tuottavat lisäarvoa. Jaottelua havainnollistaa hyvin kuva 3.3. Päätöksenteossa on syytä keskittyä arvoa tuottaviin toimintoihin (1) ja kaiken keino pyrittävä välttämään arvoa tuhoavia toimintoja (3). Kuvan keskimäinen alue (2), eli arvoa lisäämättömät toiminnot, on pyrittävä pitämään mahdollisimman pienenä.



Kuva 3.3. Toimintojen luokittelu niiden tuottaman lisäarvon perusteella (mukailtu lähteestä Neilimon & Uusi-Rauvan 2005, s. 151.)

Lumijärvi et al. (1995, s. 48) kuitenkin toteavat, että aina jako arvoa lisääviin ja lisäämättömiin toimintoihin ei ole selkeää ja helppoa. Esimerkiksi komponenttien varastointi ei tuota lisäarvoa ja tarkemmin ajateltuna varastointi on kustannus ja voidaan siten nähdä jopa arvoa tuhoavana toimintona.

Yksinkertaisin toimintojen jakoperuste on erotella perustoiminnot niitä tukevista toiminnoista. Perustoiminnot ovat esimerkiksi suoraan tuotteen valmistukseen liittyvät toiminnot. Tukitoiminnot taas tukevat näitä toimintoja ja niiden kustannukset kohdistetaan aiheuttamisperiaatteen mukaisesti perustoiminnoille eikä niitä perinteisen kustannuslaskennan tapaan jätetä yrityksen yleiskustannuksiksi. (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 150.) Luokitteluperusteita on useita, mutta Lumijärvi et al. (s. 51) kokoavat hyvin eri luokittelutavat yhteen kuvan 3.4 mukaisesti.



Kuva 3.4. Esimerkkejä toimintojen luokitteluista (Lumijärvi et al. s. 51.)

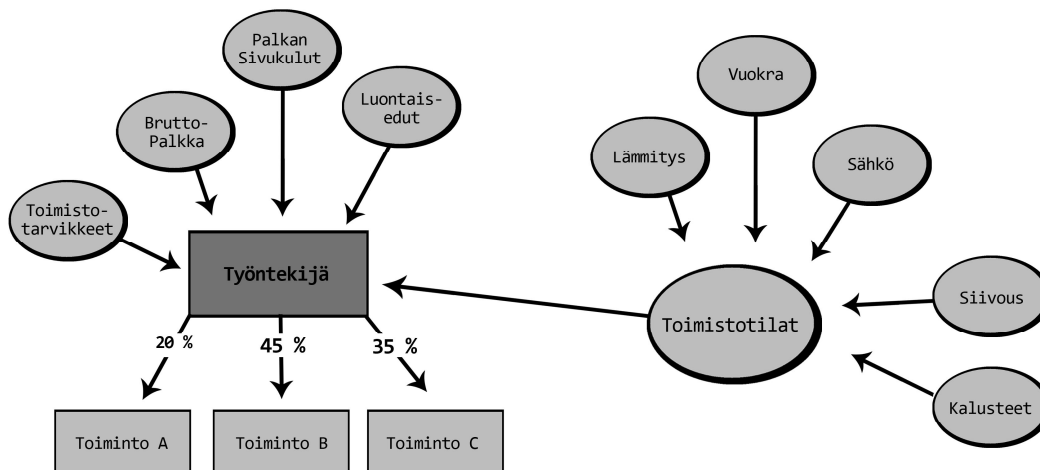
Kuva sisältää myös luokitteluja, joita ei tässä työssä tarkemmin käsitellä. Pääajatuksena näissä on kuitenkin se, että päätöksentekijöillä täytyy olla käytössä riittävän tarkat dokumentit, jotka helpottavat toimintojen analysointia ja päätöksentekoa. Toimintojen luokittelusta on hyvä siirtyä kustannusten aiheuttajiin eli resursseihin.

3.2.3 Resurssit

Resurssit ovat yrityksen voimavaroja, jotka mahdollistavat kaiken sen mitä yrityksessä tehdään. Yrityksen kustannukset syntyvät sen resurssikäytöstä ja ne voidaan toimintolaskennan avulla kohdistaa halutuille laskentakohteille. Resursseja ovat esimerkiksi työntekijät, koneet, ohjelmistot ja tilat. Kaikki resurssit yhdessä muodostavat yrityksen käytössä olevan kokonaiskapasiteetin. Uusi-Rauvan et al. (1994) mukaan yrityksen ongelma voi olla se, ettei tiedetä kuinka tehokkaasti yrityksen käytössä olevia resursseja hyödynnetään. Tällöin puhutaan kapasiteetin käyttöasteesta, joka kertoo sen kuinka suuri osa yrityksen kokonaisresurssimäärästä on käytössä. Toimintolaskenta auttaa yrityksen johtoa ymmärtämään käytössä olevan kokonaiskapasiteetin määrän sekä sen, mitä käyttämätön kapasiteetti yritykselle maksaa. Toisaalta toimintoajattelusta päästää käsiksi arvoa lisäämättömien ja arvoa tuhoavien toimintojen kustannuksiin.

Kirjallisuudessa toimintolaskenta alkaa monesti resurssien kustannusten kohdistamisesta toiminnoille. Ennen tätä täytyy kuitenkin tietää mitä kustannuksia resurssit sisältävät. Tähän päästään yleensä käsiksi yrityksen kirjanpidosta (Lumijärvi et al. 1995, s. 67; Turney 1992, s. 99.) Kustannustietoa voidaan selvittää myös toiminnanohjausjärjestelmistä, resurssitarpeita osoittavista tuotannon tuote- ja vaiherakenteista sekä henkilö-

haastattelujen perusteella (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, s. 153.) Kun kustannustiedot on näistä selvitetty, voidaan ne kohdistaa resursseille. Tilannetta havainnollistaa kuva 3.5.



Kuva 3.5. Kustannusten kohdistus resursseille (mukailtu kohteesta Seppänen et al. 2002, s. 26.)

Kuvassa 3.5 työntekijä on resurssi, jonka aiheuttamat kustannukset on piirretty nuolilla sen ympärille. Se mitä kustannuksia, millä tarkkuudella ja kuinka pitkältä ajanjaksolta resurssille kohdistetaan, riippuu täysin laskentatilanteesta. Resurssikartoituksen jälkeen jokaisella resurssilla on eräänlainen hintalappu, joka kertoo sen, kuinka paljon kyseisen resurssin käyttäminen maksaa.

3.2.4 Kustannusajurit

Toimintolaskennan yksi kriittisimmistä vaiheista on kustannusajureiden valinta. Väärä valinta voi johtaa vääristyneeseen kustannustietoon ja sitä kautta tuhota koko laskennasta saadun hyödyn. (Lumijärvi et al. 1995, s. 53.) Kuten aiemmin on todettu, toimintolaskenta on saanut alkunsa tarpeesta kohdistaa kustannuksia entistä järkevämmin perustein laskentakohteille. Kohdistuksessa käytetään apuna kustannusajureita ja Alhola (1998, s. 53) toteaaakin oikeudenmukaisen kohdistuksen olevan toimintolaskennan yksi tärkeimmistä tehtävistä. Seuraavaksi käsitellään mitä kustannusajurilla tarkoitetaan ja miten ne tulisi valita.

Kustannusajurilla tarkoitetaan sitä tekijää, jonka perusteella kustannuksia kohdistetaan toiminnoille tai laskentakohteille. Toimintolaskennassa kohdistus tapahtuu kahdessa vaiheessa: aluksi resurssien kustannukset kohdistetaan toiminnoille, jonka jälkeen toimintojen kustannukset kohdistetaan laskentakohteelle. Ensimmäisen vaiheen ajuria kutsutaan resurssiajuriksi ja toisen vaiheen ajuria toimintoajuriksi. Kustannusten kohdistusperusteen lisäksi ajurit kertovat sen, miksi toiminto tarvitsee kyseisiä resursseja.

Toimintolaskenta tähtää ajatukseen siitä, että kustannuksia ei ”vyörytetä” laskentakohteille, vaan jaetaan niille aiheuttamisperiaatetta noudattaen. Tämä on syytä muistaa kustannusajuria valittaessa. (Alhola 1998, ss. 43–57; Lumijärvi et al. 1995, ss. 52–64.)

Resurssiajureiden tarkoitus on jakaa resursseista aiheutuvat kustannukset oikeudenmukaisesti toiminnoille. Jako perustuu siihen, kuinka paljon toiminnon katsotaan kuluttavan kyseistä resurssia. Se siis linkittää resurssin ja toiminnon toisiinsa (Alhola 1998, s. 48.) Resurssiajureiden määrittäminen on yleensä melko yksinkertaista ja kohdistamisperusteena käytetään usein ajankäyttöä tai suoraa kulutusta. Kaplan & Cooper (1998, s. 86) esittävät yksinkertaisen tavan resurssikulutuksen arviointiin, missä jokaiselle tietyn osaston työntekijälle annetaan heidän osastonsa toimintoluettelo ja pyydetään arvioimaan kuinka suuren osan työajastaan he käyttävät kunkin toiminnon suorittamiseen. Arvioinnin seurauksena tiedetään kuinka paljon työntekijäresurssia kuluu tiettyyn toimintaan. Jos kyseessä ei ole työntekijäresurssi, voidaan kohdistus suorittaa mittaamalla suoraa kulutusta. Esimerkiksi maalaus -toiminnon kohdalla kohdistus tapahtuu kulutetun maalimäärän (litroja) suhteen. Resurssiajureiden määrittämisen jälkeen tiedetään se, kuinka paljon toiminnot yritykselle maksavat.

Toiminnoista syntyvät kustannukset kohdistetaan laskentakohteille toimintoajureiden avulla. Toimintoajuri mittaa sitä, kuinka paljon tietty tuote käyttää tiettyä toimintoa (Atkinson & Kaplan 2007, s. 141.) Esimerkiksi jos ”testaus” -toiminto maksaa vuodessa 100 000 €, voidaan sen kustannukset kohdistaa laskentakohteelle testaustuntien suhteen. Oletetaan, että yrityksessä testaukseen käytetty aika vuodessa on yhteensä 200 tuntia, jolloin testauksen tuntihinnaksi saadaan 500 €/h.

Kustannusajurien määrä riippuu paljolti siitä, mitä toimintolaskennalla pyritään saavuttamaan. Lumijärvi et al. (1995, s. 58) toteavat, että jos laskennan tarkoitus on selvittää tuote- tai asiakaskohtaisia kustannuksia, voidaan kustannusajureiden määrä pitää kohtuullisen pienenä. Jos laskenta taas ulottuu laajempiin kokonaisuuksiin, kuten prosessien tehokkuuden kehittämiseen, täytyy laskentamallin olla tarkempi ja sen myötä myös kustannusajureiden määrä kasvaa. Ajureiden määrää riippuu toimintojen monimutkaisuudesta sekä laskentakohteiden määrästä. Mitä vähemmän kustannusajureita ja toimintoja, sitä epätarkempi laskentamalli on. Jos tuotekohtaisessa kustannuslaskennassa tunnetaan 80–90 % kustannuksista, tuottaa laskenta jo riittävän tarkkaa tietoa (Lumijärvi et al. 1995, s. 58.) Tarkemman laskentamallin laatiminen vaatii suuria panostuksia ja eri variaatioiden määrä voi kasvaa jyrkästi. Kaplan & Cooper (1998, s. 99) esittävät tilanteesta yksinkertaisen esimerkin: toimintokartoituksessa on tunnistanut yhteensä 500 eri toimintoa tuotteiden aikaansaamiseksi. Yrityksellä on 5000 eri tuotetta ja asiakasta, joten laskennassa on tehtävä yhteensä 2 500 000 laskentatoimitusta (500 x 5000). Esimerkki antaa hyvän kuvan siitä, miten raskas laskentamallista voi tulla, jos laskentakohteita on paljon ja kustannusajurit valitaan tarkasti. Lumijärvi et al. (1995, s. 58) painottavat, että monissa tutkimuksissa toimintolaskennan suurimmaksi ongelmaksi on nähty laskenta-

mallin monimutkaisuus. Liian tarkka malli ei tuo riittävää lisähyötyä, joten tuote- ja asiakastarkasteluihin on järkevää valita noin 30–50 eri kustannusajuria (Kaplan & Cooper 1998, s. 99.)

Vaikka kustannusten kohdistamiseen on löydetty aiheuttamisperiaatteen mukaisesti paras kustannusajuri, on valinnassa otettava huomioon myös muita seikkoja. Jälleen ker-
ran asiaa käsittelevät parhaiten Lumijärvi et al. (1995, s. 61–64.) Heidän mukaansa kus-
tannusajureita valittaessa tulee huomioida seuraavat asiat:

- kustannusajuritietojen saatavuus
- kustannusajurin kyky kuvata resurssien kulutusta
- kustannusajureiden vaikutus yrityksen toimintaan

Kustannusajuritietojen saatavuus voi olla ratkaiseva tekijä ajuria valittaessa. Vaikka toimintolaskentamallin kehitysvaiheessa kohdistusperusteeksi on löydetty sopiva ajuri, täytyy mallin laatijan ottaa huomioon laskentamallin ylläpitokustannukset. Jos valittu ajuritieto on vaikeasti saatavilla, vaatii se jatkossa ponnisteluja laskentaa päivitettäessä. Jos esimerkiksi ajuri on selvitetty haastatteleamalla työntekijöitä, täytyy se myös jatkossa selvittää haastatteluilla. Jos taas kustannusajuritieto löytyy jostain sähköisestä järjestel-
mästä, kuten toiminnanohjausjärjestelmästä, aiheuttaa päivittäminen huomattavasti vä-
hemmän vaivaa. Tämä on syytä ottaa huomioon laskentamallia rakennettaessa.

Toinen tärkeä tekijä kustannusajurin valinnassa on sen kyky kuvata resurssien kulutusta. Tällä Lumijärvi et al. tarkoittavat jo aiemmin käsiteltyä resurssiajurin tarkkuutta, joka vaikuttaa suoraan laskentamallin monimutkaisuuteen. Tarkka kustannusajuri tuottaa tarkkaa tietoa, mutta on kallis selvittää. Liian epätarkka ajuri voi puolestaan vääristää laskennan tuottamaa tietoa.

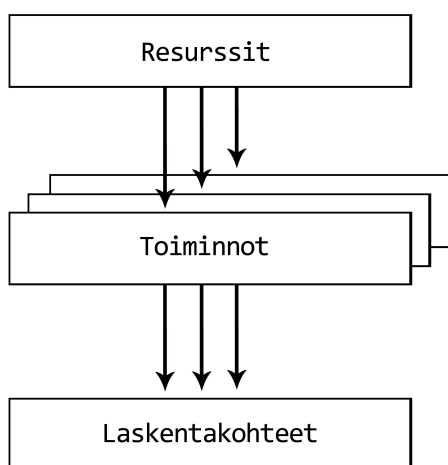
Toimintolaskennan toisessa vaiheessa toimintojen kustannukset kohdistetaan laskenta-
kohteille. Tähän tehtävään valitaan toimintoajurit, jotka kohdistusperusteen lisäksi il-
moittavat toiminnon ”hinnan” eli sen, kuinka paljon toiminnon käyttäminen maksaa. Tätä kautta toimintoajuri toimii suoritemittarina ja auttaa kehittämään yrityksen toimin-
taa. Alentunut hinta viestii toiminnan tehostumisesta ja päinvastoin noussut hinta toi-
minnan huonontumisesta. Kustannusajureita tarkastelemalla voidaan tehdä johtopäätök-
siä organisaation toiminnan tasosta. Ajureiden tarkastelu voi kuitenkin johtaa myös epä-
suotuisiin toimenpiteisiin. Jos esimerkiksi laskujen käsittely -toimintoa mitataan lasku-
jen lukumäärällä, voi kustannusajureiden tarkastelu johtaa kehitykseen, missä tietty las-
ku pilkotaan pienempiin osiin ja näin laskujen kokonaismäärä saadaan kasvamaan. Täl-
löin laskujen käsittely -toiminnon yksikkökustannukset alentuvat ja toiminto näyttää
kehittyneen, vaikka todellisuudessa tehokkuus ei ole parantunut.

Toimintolaskennan peruskäsitteet (toiminnot, resurssit ja ajurit) on nyt riittävällä tarkkuudella käsitelty, joten seuraavaksi voidaan siirtyä toimintolaskennan laskentaperiaatteisiin.

3.3 Laskentaperiaate

Tässä luvussa käsitellään lyhyesti toimintolaskennan laskentaperiaate. Kirjallisuudessa esitystapoja on useita, mutta laskenta etenee kaikissa samantapaisesti. Lukuun on poimittu muutama viitekehys, jotka toivottavasti helpottavat lukijaa sisäistämään laskennan periaatteen.

Kaplan & Cooper (1998, ss. 79–80) kuvaavat toimintolaskentaa karttana, joka auttaa päätöksentekijöitä suunnistamaan uusilla liiketoiminta-alueilla. Kun päätöksentekijöillä on selkeä kuva siitä, mitä yrityksessä todella tehdään, on toiminnan ohjaaminen huomattavasti helpompaa. Perinteisessä kustannuslaskennassa laskennan keskipiste on usein tuote. Toimintoperusteisessa laskennassa keskitytään yrityksen toimintoihin (porausta, hitsaus, myynti, tilausten käsittely). Laskenta lähtee liikkeelle ajatuksesta, missä toiminnot kuluttavat yrityksen resursseja (työntekijät, materiaalit, tilat, ohjelmat) ja resurssit taas synnyttävät kustannuksia. Jotta päästään käsiksi laskentakohteen (tuote, asiakas, maantieteellinen alue) kustannuksiin, täytyy ensin selvittää mitä toimintoja tuotteen valmistus vaatii ja kuinka paljon näitä toimintoja siihen käytetään. (Uusi-Rauva et al. 1994.) Tilannetta selventää Alholan (1998, s. 44) piirtämä kuva 3.6 toimintolaskennan perusperiaatteesta.

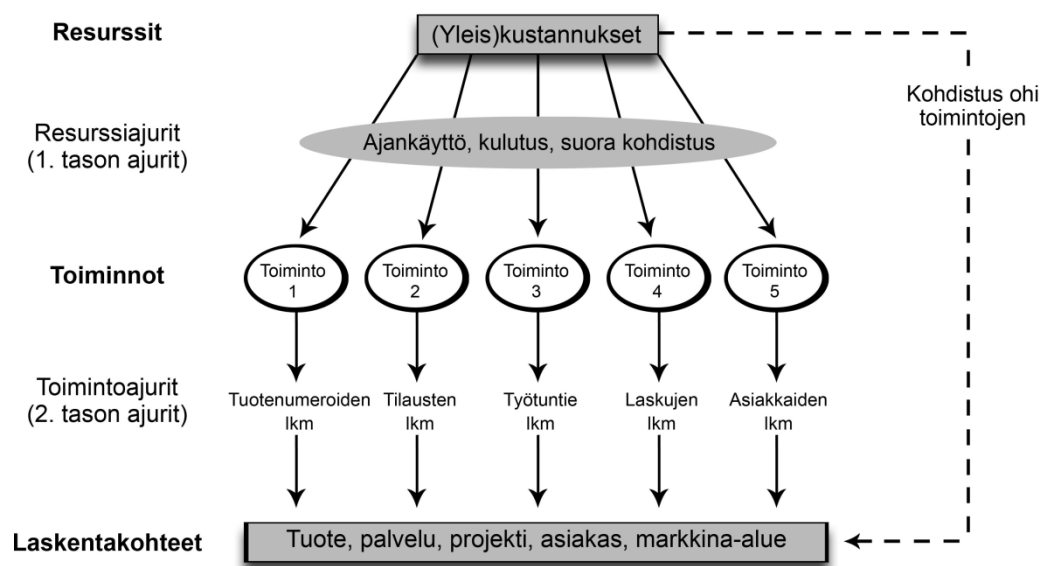


Kuva 3.6. Kustannusten kohdistamisprosessi (Alhola 1998, s. 44.)

Laskennan kulkua selventää myös kuvassa 3.7 esitetty toimintolaskentamalli. Tässä Lumijärven et al. (1995, s. 53) laatimassa mallissa kustannusten kohdistus tapahtuu kahdessa vaiheessa käyttäen apuna aiemmin käsiteltyjä kustannus- ja toimintoajureita.

Kuvassa näitä kutsutaan 1. ja 2. tason ajureiksi. Tilanteesta riippuen kustannuksia voidaan kohdistaa toiminnoille kahdella eri tavalla. Jos on olemassa selkeä, kulutuksen kertova kohdistusperuste, voidaan välittömät kustannukset kohdistaa toimintojen ohi suoraan laskentakohteille. Kuvassa 3.7 tätä esittää oikealle piirretty katkoviiva. Tällöin kohdistamisessa täytyy kuitenkin olla selkeä peruste, joka kunnioittaa aiheuttamisperiaatetta. Vaikka tämän tyylinen menettely saattaa helpottaa tuotekohtaista kustannuslaskentaa, vie se huomioon kuitenkin pois toiminnoista ja heikentää sen myötä prosessien mukaista tarkastelua.

Jos taas suoraa kohdistusta ohi toimintojen ei voida tehdä, täytyy resurssikulutukselle selvittää jokin aiheuttamisperiaatteen mukainen tekijä. Tämä on siis laskennan ensimmäinen vaihe, missä resurssit kohdistetaan valituille toiminnoille. Esimerkkitapaus voisi olla tilakustannus (resurssi), joka voidaan kohdistaa toiminnoille pinta-alan mukaisesti. Tässä vaiheessa laskentaa on siis selvillä yrityksen resurssit sekä niiden synnyttämät kustannukset, jotka on nyt kohdistettu toiminnoille.

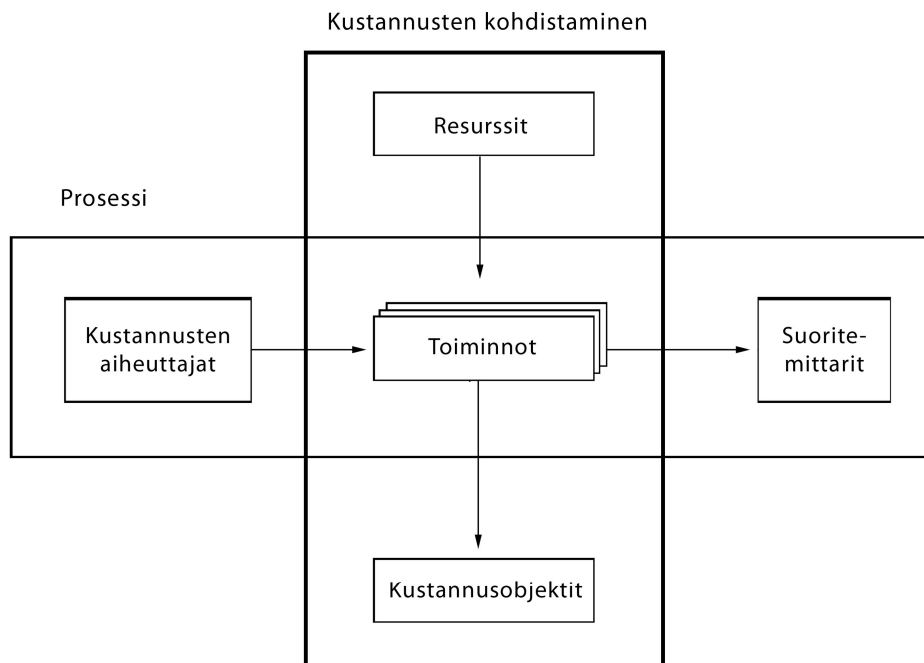


Kuva 3.7. Toimintolaskentamalli (mukailtu lähteestä Lumijärvi et al. 1995, s. 53.)

Laskennan toisessa vaiheessa toiminnot kohdistetaan halutulle laskentakohteelle (kuvassa 3.7 tuote, palvelu, projekti, asiakas, markkina-alue) ja tätä kautta päästään käsiksi itse laskentakohteen kustannuksiin. Toimintojen kohdistus laskentakohteille tapahtuu 2. tason eli toimintoajureiden avulla, mitä käsiteltiin aiemmin luvussa 3.2.4.

Usein toimintolaskentaa käsittelevässä kirjallisuudessa puhutaan myös Turneyn (1994, s. 83) esittämästä kaksidimensionaalisesta mallista (CAM-I -malli). Siinä toimintolaskenta on jaettu prosessi- ja kustannusnäkökulmiin kuvan 3.8 mukaisesti. Mallin vertikaalinen osa esittää jo aiemmin käsiteltyä kustannusten kohdistamisnäkökulmaa, missä

resurssien kustannukset kohdistetaan toimintojen avulla laskentakohteille. Se siis kuvaa yrityksen panosten virtausta tuotoksiin ja tarjoaa tietoa resursseista, toiminnoista ja laskentakohteista.



Kuva 3.8. Toimintolaskennan kaksiulotteinen malli (mukailtu lähteestä Turney 1994, s. 83.)

Se mikä Turneyn esityksessä on huomion arvoista, on mallin horisontaalinen lähestyminen, joka kuvastaa toimintojen prosessinäkökulmaa. Tämä lähestymistapa auttaa ymmärtämään prosessien tehokkuutta mittaamalla toimintojen tehokkuutta suoritemittareiden avulla. Mittarit tarjoavat arvokasta tietoa siitä, kuinka tehokkaasti organisaatiossa toimitaan. Kuvassa prosessiajuri on se peruste, minkä perusteella toimintojen kustannuksista muodostetaan suoritemittari. Esimerkki prosessiajurista ”materiaalien käsittely” -toiminnon yhteydessä on keskimääräinen etäisyys eri toimipisteiden välillä tai esimerkiksi ”koneiden asetus” -toiminnoissa asetusten lukumäärä. Jos koneiden asetuksiin kuluva resurssi maksavat yhteensä 1000 € ja asetusten lukumäärä laskentakaudella on 50, saadaan yhden asetuksen hinnaksi 20 €/asetus. Toiminnan tehokkuutta voidaan seurata mittaamalla säännöllisin väliajoin kuinka yhden asetuksen hinta muuttuu. Alentunut hinta kertoo toiminnan tehostumisesta tai kustannusten vähenemisestä, ja toisaalta nousut hinta viestii toiminnan laskevasta tehokkuudesta tai kustannusten noususta.

Edellä kuvatuttujen laskentaperiaatteiden mukaisesti yrityksen kustannukset on nyt järkevin perustein kohdistettu laskentakohteille: aluksi resurssit toiminnoille (1. vaihe), jonka jälkeen toiminnot laskentakohteille (2. vaihe). Lumijärvi et al. (1995, s. 35) toteaa-

vat kuitenkin, ettei toimintolaskenta itsessään ratkaise yrityksen ongelmia, vaan toimii päätöksentekijöiden työkaluna muun muassa seuraavilla tavoilla:

- auttaa hahmottamaan ja ymmärtämään organisaation resurssien kulutuksen sekä muun muassa tuotteen, palvelun, asiakkaan ja projektin aiheuttamien kustannusten välisen suhteen
- helpottaa ymmärtämään organisaation kustannusten käyttäytymistä monimutkaisissa liiketoimintaympäristöissä
- mahdollistaa prosessien kehittämisen ja parantamisen

Toimintolaskennalla on monia etuja perinteiseen kustannuslaskentaan verrattuna. Sen suurimmaksi hyödyksi mainitaan usein entistä oikeudenmukaisempi kustannusten kohdistaminen laskentakohteille. Monesti aiheuttamisperiaatetta ei ole kunnioitettu tarpeeksi hyvin, mikä on johtanut tuotteiden kannattavuustarkasteluissa väärin johtopäätöksiin. Tähän on viitattu jo aiemmin tekstissä.

Toinen hyöty syntyy toimintojen kartoituksen tuloksena. Selvityksen tuloksena organisaatiosta saattaa löytyä toimintoja, joiden olemassaolosta ei aiemmin edes tiedetty. Tästä voi olla apua kustannusten karsimisessa. Toisaalta kartoitus tuo esille ne toiminnot, jotka ovat yritykselle elintärkeitä tai vastakohtaisesti hyödyttömiä tai jopa arvoa tuhoavia. Esimerkiksi yrityksen laatuongelmiin päästään käsiksi, kun tunnistetaan laadun kannalta tärkeät toiminnot ja osataan panostaa niihin täysillä. Analyysi voi myös paljastaa tehdäänkö laadun hyväksi ylipäättänsä oikeita toimintoja.

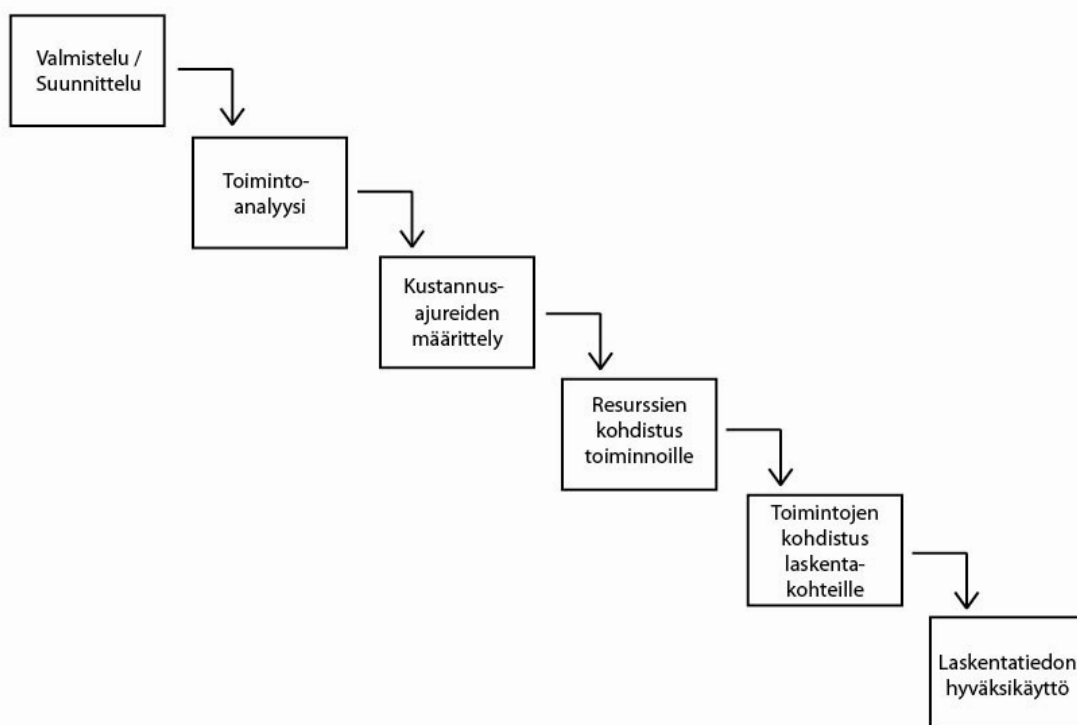
Toimintolaskenta tuottaa tietoa laskentakohteen kustannuksista. Kustannustietoa voidaan hyödyntää muun muassa hinnoittelussa, kun tiedetään tarkasti mitä tuotteen valmistus maksaa. Tuotesuunnittelussa kustannustieto auttaa arviomaan sitä, kannattaako tuotetta ylipäättänsä alkaa valmistamaan kun valmistustoimintojen kustannukset on selvillä etukäteen. Valmistuspäätös voidaan tehdä vertailemalla kustannuksia sen hetkiseen markkinahintaan ja näiden erotusta tavoiteltuun voittoon. Jos toimintolaskenta paljastaa suunnitellun tuotteen kannattamattomaksi, voi päätös tuotteen hylkäämisestä säästää paljon yrityksen voimavaroja ja kustannuksia. Toisaalta jos tuotetta ei tästä syystä päätetä valmistaa, mutta sama tuote esiintyy jo markkinoilla, viestii se toiminnan tehotto-
muudesta, koska joku myy yritys pystyy sen kannattavasti valmistamaan. Vertailemalla omaa toimintaa toiseen, saman alan huippuosajaan, voidaan prosessien tehokkuutta parantaa oppimalla muilta. Tästä käytetään yleisesti termiä benchmarking.

Toimintolaskennan prosessinäkökulma parantaa ymmärrystä eri toimintojen välisistä riippuvuuksista. Usein toiminto on seurausta jostain edellisen vaiheen toiminnosta ja edelleen toimii seuraavan toiminnon laukaisijana. Jos toimintoketjussa jokin toiminto on tehoton, vaikuttaa se koko prosessin tehokkuuteen. Toimintoajattelu auttaa tunnistamaan yrityksen ongelmakohdan (pullonkaulat) ja kehittämään toimintaa tehokkaampaan

suuntaan. Esimerkiksi tuotteen suunnittelussa tehty tietty ratkaisu voi hidastaa tuotteen kokoonpanon jotain vaihetta, jonka seurauksena koko kokoonpanolinjan tehokkuus kääri. Tunnistamalla arvoa lisäämättömän tai tuhoavan toiminnon syy, voidaan suunnittelussa tehdä tarvittavat muutokset ja poistaa kyseinen toiminto täysin tuotteen kokoonpanosta. Yksi toimintolaskennan eduista on myös sen laaja käyttöalue. Perinteistä kustannuslaskentaa sovelletaan vain tuotteiden kustannuslaskennassa, kun taas toimintolaskennassa kustannuksia voidaan kohdistaa melkein mille tahansa laskentakohteelle. (Uusi-Rauva et al. 1994, ss. 50–51.)

3.4 Toimintolaskennan käyttöönotto

Tässä luvussa käsitellään toimintolaskennan käyttöönottoprosessi. Laskentajärjestelmän kehittäminen on projekti, joka alkaa muiden projektien tapaan valmistelusta ja suunnittelusta. Kun projektin toteutussuunnitelmat ja tavoitteet on selvitetty, varsinainen laskenta voi alkaa kustannusten kohdistuksesta resursseille. Tätä vaihetta seuraa toimintojen kartoitus, minkä jälkeen määritellään kustannusajurit. Kun nämä kohdistusperusteet ovat selvillä, voidaan resurssien kustannukset kohdistaa toiminnoille ja edelleen toiminnot kohdistaa laskentakohteille. Projekti päättyy laskentatietojen hyväksikäyttöön. Alla oleva kuva 3.9 havainnollistaa tätä prosessia.



Kuva 3.9. Toimintolaskennan käyttöönottoprosessi (mukailtu lähteistä Seppänen et al. 2002, s. 22; Alhola 1998, s. 103; Lumijärvi et al. 1995, s. 23.)

Kuvan 3.9 prosessi on hyvin lähellä luvussa 3.3 esitettyä laskennan kulkua havainnollistavaa mallia. Toimintolaskentaprojekti lähtee käyntiin tavoitteenasettelusta ja valmiste-

lusta. **Valmisteluvaiheessa** tulisi selvittää mikä on projektin tavoite? Onko tarkoitus luoda kokonaan uusi laskentajärjestelmä, vai sovelletaanko toimintolaskentaa vain tiettyyn osastoon tai tuotteeseen? Toisin sanoen, mikä on projektin laajuus? Kuinka tarkka laskentajärjestelmästä on tarkoitus tehdä ja kuka järjestelmää hoitaa? Valmisteluvaihe sisältää myös suunnitelmat siitä, mitä tietoa laskentamalliin tarvitaan sekä mistä ja keneltä tätä tietoa voidaan hankkia. Ennen varsinaista työn aloittamista, täytyy projektille luoda myös selkeä aikatalutus (Alhola 1998, s. 103.)

Toimintoanalyysi on yksi toimintolaskentamallin rakennuksen keskeisimmistä vaiheista. Sen tuloksena syntyy ymmärrys siitä, mitä organisaatiossa todella tehdään ja mihin sen resursseja kulutetaan. Se antaa myös hyvän lähtökohdan toimintojen ja toimintoketjujen kehittämiseen sekä kertoo sen, mitä toiminnon suorittaminen maksaa. Toimintoanalyysin seurauksena ymmärretään mitä lisäarvoa toiminnot tuottavat ja miten tietty toiminto vaikuttaa muihin toimintoihin. Se paljastaa esimerkiksi lisäarvoa tuhoavat toiminnot sekä niiden kerrannaisvaikutukset tuotantoprosessissa.

Toimintoanalyysissä tulisi selvittää ainakin seuraavia asioita (Alhola 1998, s. 104.):

- toimintoajurit
- mitä resursseja toiminnot kuluttavat
- miten toiminnot liittyvät toisiinsa ja muodostavat toimintoketjuja
- mikä aiheuttaa toiminnon suorittamisen
- mitkä ovat edelliset vaiheet toimintojen ketjussa
- mitä seurannaisvaikutuksia toiminto aiheuttaa
- kuka tarvitsee juuri tietyn toiminnon tuotosta

Toimintoanalyysi on hyvä aloittaa esimerkiksi prosessikaavioista (Seppänen 2002, s. 25.) Niiden pohjalta voidaan muodostaa selkeä kuva prosessien eri vaiheista sekä niiden kestoista. Prosessikaavioiden avulla prosessit voidaan pilkkoa sopiviksi kokonaisuuksiksi tarkempaa toimintoanalyysia varten. Toimintojen alustava kartoitus voidaan tehdä esimerkiksi kyselylomakkeella, johon vastaaja listaa kaikki tekemänsä toiminnot, sekä arvioi kuinka suuren osan ajastaan hän tiettyyn toimintoon kuluttaa. Kyselyssä selvitetään myös mitä muita resursseja (materiaalit, koneet, ohjelmistot) toiminnon suorittaminen vaatii. Tarkempi toimintoanalyysi voidaan tehdä haastattelemalla prosessista vastaavaa esimiestä sekä työntekijöitä. Kartoituksen seurauksena muodostetaan toimintahakemisto, mihin on lueteltu kaikki laskennan kannalta olennaiset toiminnot ja yksittäiset tehtävät on koottu yhdeksi toiminnoksi. Liian pieniin osiin toimintoja ei kuitenkaan ole järkevää pilkkoa tai muuten laskentajärjestelmästä muodostuu liian raskas ja vaikeasti ylläpidettävä. Toimintoja kuvataan verbillä ja siihen liittyvällä objektilla: suunnitella (toiminto) työjärjestys (objekti), palvella asiakasta, ostaa materiaaleja, käsitellä tilaus, esitellä uusi tuote. Tunnusomaista toiminnolle on se, että se muodostaa itsenäisen kokonaisuuden ja voidaan rajata muista toiminnoista. (Kaplan & Cooper 1998, s. 85.)

Kun resurssien synnyttämät kustannukset on selvitetty, voidaan **resurssit kohdistaa toiminnoille** aiheuttamisperiaatteen mukaisesti. Kohdistusperusteena käytetään jo aiemmin käsiteltyjä resurssiajureita (1.tason ajurit). Näiden **kustannusajureiden määrätyt** henkilöresurssien kohdalla onnistuu yleensä melko luotettavasti osastojen johtajia haastatteleamalla. Henkilöresursseihin voidaan kohdistaa työ kustannusten lisäksi myös muita kustannuslajeja aiemman kuvan 3.5 mukaisesti. Muiden kuin henkilösidonnaisten kustannusten kohdistusperusteet voidaan selvittää osastojen kirjanpidosta, jolloin kohdistusperusteena käytetään arviota toimintojen käyttämistä resursseista. (Turney 1992.)

Kuvassa 3.9 seuraava vaihe on **toimintojen kohdistus laskentakohteille**. Kohdistus noudattaa jo aiemmin luvussa 3.3 esitettyä toimintolaskennan laskentamallia, joten tässä yhteydessä asiaa ei tarkemmin enää käsitellä.

Toimintolaskennan käyttöönoton viimeinen vaihe sisältää **laskentatiedon hyväksikäytön**. Toimintolaskentaa voidaan hyödyntää ainakin seuraavissa tilanteissa:

- laskentakohdetta, kuten tuotetta, palvelua, projektia ja asiakasta koskevissa päätöksissä
- prosessien analysointi ja uudelleenkehittäminen
- benchmarking
- budjetointi

Toimintoihin perustuvan laskentamallin avulla päästään käsiksi niihin syihin, mistä kustannukset aiheutuvat. Tätä kautta voidaan vaikuttaa koko yrityksen toimintaan. Yksi tärkeimmistä toimintolaskennan eduista onkin juuri prosessien tehokkuuden parantaminen. Toimintojen kautta nähdään mihin organisaation resursseja kulutetaan, ja sitä kautta toimenpiteet voidaan kohdistaa oikeisiin asioihin. (Lumijärvi et al. 1995, s. 89.)

Tässä luvussa on lukijalle selitetty toimintolaskennan käyttöönottoon liittyvät vaiheet. Luvussa 3.1 käsiteltiin lisäksi toimintolaskennan tuomia etuja. Todellisuudessa laskenta ei kuitenkaan ole aina näin yksinkertaista ja laskenta onkin saanut osakseen myös kritiikkiä. Ensinnäkin toimintojen kartoitus ja yrityksen työntekijöiden haastattelut voivat olla erittäin työläitä ja aikaa vieviä prosesseja. Suuressa yrityksessä työntekijöitä voi olla kymmeniä tuhansia, joten selvitys heidän tekemistään toiminnoista ja niihin liittyvistä resurssikulutuksista voi vaatia usean työntekijän kokopäiväisen palkkaamisen pelkästään tätä vaihetta varten. Työläs ja sen myötä kallis tiedon keräys, prosessointi ja raportointi ovat olleet suurimmat esteet toimintolaskennan laajalle leviämislle. Paljon resursseja vaativa tiedon keräys on johtanut myös siihen, että laskentamallia ei päivitetä tarpeeksi usein, jolloin sen tuottama tieto voi olla vääristynyttä.

Yritysjohdolla on kritisoinut laskennan luotettavuutta myös sillä, että toimintokartoitus ja selvitys työntekijöiden ajankulutuksesta tehdään usein kyselyiden avulla, jolloin tieto ei ole tarkkaa, vaan pohjautuu vastaajien omiin arvioihin. Tästä johtuen päähuomio saattaa kohdistua liikaa laskentatiedon luotettavuuden kritisointiin eikä siihen, mihin hyödyllisiin toimenpiteisiin sen pohjalta tulisi ryhtyä.

Ongelmia voi aiheuttaa myös laskentamallin monimutkaisuus. Toimintokirjaston kasvaessa suureksi – joko tarkemman tiedon tarpeesta tai laskennan kohteen laajennuttua uusille osastoille – järjestelmän prosessointiin vaadittava tiedonkäsittelykapasiteetin tarve kasvaa jyrkästi. Tästä johtuen laskentaohjelmien – kuten excel – laskentakapasiteetti voi loppua hyvin nopeasti ja jopa kaupalliset toimintolaskentaohjelmistot voivat olla tehoiltaan riittämättömiä. Laskentamallin prosessointi voi viedä jopa kokonaisen vuorokauden tai monimutkaisissa järjestelmissä jopa kolme vuorokautta. (Atkinson et al. 2007, pp. 146–147.)

3.5 Yhteenveto

Toimintolaskenta on alun perin syntynyt perinteisen kustannuslaskennan kritiikin pohjalta. Tutkimukset osoittavat, että perinteisessä kustannuslaskennassa kustannuksia on kohdistettu laskentakohteille ilman riittäviä perusteita. Välittömien kustannusten kohdalla kohdistus on usein suoraviivaista, mutta ongelmaksi on muodostunut välillisten kustannusten kohdistus. Perinteisesti niitä on kohdistettu laskentakohteille yrityksen eri kustannuspaikoille määriteltujen yleiskustannuslisien avulla. Yleiskustannuslisät sisältävät esimerkiksi hallinnosta (toimihenkilöiden palkat), kiinteistöistä (sähkö, lämmitys) sekä poistoista aiheutuvia kustannuksia, jotka voidaan yleiskustannuslisien avulla kohdistaa halutulle laskentakohteelle. Kohdistus on kuitenkin tehty usein ilman riittävää syy-yhteyttä, jolloin laskennan tuottama tieto vääristää laskentakohteiden kannattavuustietojä.

Toimintoperusteinen kustannuslaskenta lähtee ajatuksesta, jonka mukaan kaikki yrityksen tuottamat tuotteet tai palvelut syntyvät erinäisten toimintojen tuloksena. Toiminnot taas kuluttavat yrityksen resursseja ja tämän resurssikulutuksen pohjalta määritellyille toiminnoille voidaan laskea hinta esimerkiksi aikayksikössä. Laskentakohteiden kustannukset voidaan siten selvittää niiden kuluttamien toimintojen perusteella. Toimintolaskennan etuina mainitaan usein ymmärrys siitä, mitä yrityksessä todella tehdään. Toimintojen kartoituksen jälkeen voidaan selvittää se, mitkä toiminnot todellisuudessa tuovat tuotteille lisäarvoa, ja toisaalta mitkä eivät tuota lainkaan lisäarvoa tai jopa tuhoavat sitä.

Toimintolaskennassa kustannusten kohdistus tapahtuu kahdessa vaiheessa. Aluksi yrityksen resurssit kohdistetaan valituille toiminnoille niin sanottujen resurssijasureiden avulla (katso luku 3.2.4), jonka jälkeen toiminnot kohdistetaan halutuille laskentakoh-

teille toimintoajureiden avulla (katso luku 3.3). Laskennan kohde voi olla käytännössä mikä tahansa yrityksen osa, kuten esimerkiksi tuote, asiakas, tulosityksikkö tai maantieteellinen alue.

Yksi toimintolaskennan tärkeimmistä eduista on sen prosessinäkökulma. Resurssien ja toimintojen kohdistuksessa käytetyt resurssi- ja toimintoajurit toimivat automaattisesti prosessimittareina. Mittareita seuraamalla voidaan arvioida sitä, kuinka tehokkaasti prosessi toimii (katso kuva 3.8.)

4 JOHDANTO LAADUN MAAILMAAN

Sana laatu, synnyttää yleensä positiivisen mielikuvan. Jos tuote on laadukas, sen kilpailukyky paranee ja myynti kasvaa. Laaduton tuote taas yleensä poistuu markkinoilta, koska se ei vastaa asiakkaiden tarpeita ja odotuksia. Laadukas tuote syntyy laadukkaana toiminnan kautta ja maalaisjärjellä ajateltuna hyvä laatu synnyttää myös taloudellista menestystä. Tutkimusten mukaan näin ei kuitenkaan välttämättä ole, koska laatua on vaikea määritellä yksiselitteisesti (Järvinen et al. 2001.) Tämä luku tarjoaa lyhyen johdannon laadun moninaiseen maailmaan, alkaen laadun käsitteestä, jatkuen laadun historiaan ja loppuen nykyaikaiseen laadun parantamiseen sekä prosessiajatteluun.

4.1 Laatu käsitteenä

Laatu tuo arkikielessä mieleen mitä moninaisimpia asioita. Monesti se ymmärretään tuotteisiin liittyvänä ominaisuutena, kuten virheettömyytenä tai kestävyyttenä. Laatu käsitteenä ulottuu kuitenkin tuotelaatua reilusti laajemmalle alueelle ja kirjallisuudessa sille löytyykin muun muassa seuraavia määritelmiä: arvo (Abott 1995), vaatimusten yhdenmukaisuus (Crosby 1979), tappioiden välttämistä (Taguchi 1989), asiakkaiden vaatimusten ja tarpeiden täyttäminen (Grönroos 1983). Määritelmiä on lukuisia ja tässä luvussa niistä tuodaan esille muutamia. (Reeves & Bednar, 1994.)

Reeves & Bednar (1994) kokoavat laadun määritelmät yhteen jakamalla laadun neljään eri luokkaan:

1. laatu on erinomaisuutta
2. laatu on arvoa
3. laatu on vaatimusten noudattamista
4. laatu on asiakkaiden odotusten täyttämisenä tai ylittämisenä

Laatu erinomaisuutena käsitetään ihmisten arvostuksena erilaisia tuotteita kohtaan. Määritelmä on hyvin abstrakti ja riippuu paljolti asiayhteydestä. Erinomaisuus voi tarkoittaa eri ihmisille eri asiaa, joten sen käyttökelpoisuus laadun määritelmänä ei välttämättä ole kovin hyvä.

Laatua arvokkuutena mitataan rahamääräisesti. Määritelmän mukaan laadun vertailuun voidaan käyttää tuotteen tai palvelun hintaa, eikä laadusta voida puhua ilman hintaa. Asiakkaan kokema arvo syntyy siis hinnan ja laadun yhdistelmästä.

Laatu vaatimusten noudattamisena sekä odotusten täyttämisenä tai ylittämisenä on käsitelty kattavasti ISO-9000 -standardiperheessä. Standardin tavoitteena on varmistaa organisaation laadukas toiminta niin, että se pystyy menestyksekkäästi täyttämään asiakkaiden sekä muiden sidosryhmien tarpeet ja odotukset. Tähän määritelmään sisältyy toiminnan jatkuva parantaminen, tuotetta koskevien lakien ja asetusten noudattaminen sekä asiakastytytyvyyden parantaminen.

Lecklin (2006) näkee laadun sidosryhmien kautta. Hänen mukaansa laadun lähtökohtana on ennen kaikkea asiakkaat, joiden tarpeet, vaatimukset ja odotukset määrittävät laadun tason. Laadukkaat tuotteet syntyvät laadukkaan toiminnan kautta, joka syntyy arvioimalla markkinoita ja ymmärtämällä asiakkaiden tarpeita. Lecklinin näkemys laadusta on hyvin lähellä ISO-9000 -standardia.

Oman näkemyksensä laatuun työ myös Lillrank (1990, ss. 41–51), joka jaottelee laadun seuraavin perustein:

- ***Valmistuslaatu:***
Keskittyy valmistusprosesseihin. Hyvin hallitun, laadukkaan prosessin kautta syntyy laadukkaita tuotteita. Tähän liittyy perinteinen laadunvalvonta, missä virheiden syntyä pyritään ennaltaehkäisemään jatkuvan tarkkailun ja prosessin kehittämisen avulla.
- ***Tuotelaatu:***
Korostaa suunnittelun osuutta tuotteen laadun määrittämisessä. Määritelmän mukaan tuotteessa itsessään on joitain ominaisuuksia, jotka määrittelevät sen laadukkuuden. Esimerkkeinä toimivat: elinikä, kestävyys ja huollettavuus.
- ***Arvolaatu:***
Arvolaadun mukaan laadukkain tuote on se, jonka kustannus-hyötysuhde on parhain. Toisin sanoen laatu kasvaa kun sijoitetun pääoman tuotto kasvaa.
- ***Kilpailulaatu:***
Laadun tulee olla ainoastaan yhtä hyvä kuin kilpailijoiden laatu. Parempi laatu on ylilaatua, joka on turhaa ja hukkaa resursseja.
- ***Asiakaslaatu:***
Laatu on hyvää, kun asiakkaiden tarpeet ja odotukset täyttyvät.
- ***Ympäristölaatu:***
Tämä jaottelu tuo esille tuotteen ympäristö- ja yhteiskuntavaikutukset. Tuotteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon koko elinkaari ja resurssien käyttö.

Laadusta puhuttaessa täytyy muistaa se, ettei sillä ainoastaan tarkoiteta edellä mainittuja laadun elementtejä, vaan monesti ”laatu”-sanalle liitetään myös laatujohtaminen ja erinäiset laadun filosofiat. Näillä tarkoitetaan niitä kokonaisvaltaisia menetelmiä ja ajattelutapoja, joilla laatua pyritään johtamaan ja hallitsemaan strategisesti. Kuten nopea kirjallisuuskatsaus osoittaa, laadulle löytyy vähintään yhtä monta määritelmää kuin on alan kirjailijoitakin.

4.2 Katsaus laadun historiaan

Vaikka tässä työssä ei olekaan tarkoitus käsitellä laadun historiaa sen syvällisemmin, on lukijan kuitenkin hyvä tiedostaa, kuinka nykyaikaiseen laatuajatteluun on päädytty. Laadun historian ensivaiheet voidaan tunnistaa jo vaihdantatalouden ajalta, jolloin tuotteiden kauppa perustui myyjän ja ostajan väliseen suoraan kanssakäymiseen. Vaihdamme tapahtuessa molemmat osapuolet arvioivat saamansa tuotteen ominaisuuksia ja laadukkuutta. Laadukas tuote oli helpompi kaupata ja sen hinta oli korkeampi huonompi-laatuisiin tuotteisiin verrattuna. Laadulla oli siis jo tähän aikaan suuri merkitys kaupanteossa.

Ennen teollista vallankumousta laatu syntyi käsityöläisten toimesta. Tuotteet syntyivät yksittäisen käsityöläisen tai pienen ammattiryhmän toimesta niin, että tuotteen suunnittelu ja valmistus kuuluivat kokonaan heille. Tuotteen kysyntä perustui sen laadukkuuteen, joka oli käsityöläisille myös kunniakysymys. Ammattitaitoa mitattiin esimerkiksi sen mukaan, miten laadukkaita kenkiä suutari pystyi valmistamaan. Työläisillä oli usein suuri ammattilypeys omaa ammattia kohtaan, jonka seurauksena tuotteista haluttiin tehdä mahdollisimman laadukkaita.

Teollisen vallankumouksen seurauksena tuotteita alettiin valmistaa massoina. Tuotannossa alettiin hyödyntää koneita ja tuotteet tehtiin pitkinä sarjoina. Valmistusprosessit jaettiin pienempiin kokonaisuuksiin, missä yksittäinen työntekijä oli vastuussa vain pienestä osasta tuotantoa. Työn luonne muuttui tällöin vähemmän ammattitaitoa vaativaksi ja vastuu tuotteiden laadusta siirtyi tuotannosta esimiehille. Tuotantoprosessin pilkkomisen seurauksena ja sen myötä työntekijöiden vastuun pienennyttyä myös ammattilypeyttä ei esiintynyt enää samassa mittakaavassa kuin käsityöläisten aikana. Tällä oli suuri vaikutus työn laadukkuuteen. Samalla kun laadunvalvonta siirtyi kauemmaksi itse tuotannosta, myös tuotteen suunnittelu erotettiin sen valmistuksesta. Erottelun seurauksena organisaation toiminnasta puuttui kokonaisvaltainen näkemys, kun työn eri vaiheet toimivat erillisinä ”yksikköinä”. Ongelmaksi muodostui yksiköiden välinen yhteistyön puute. Tämän seurauksena laadunhallintaan täytyi perustaa erillinen organisaatio ja näin laadun hallinta siirtyi kauemmaksi itse valmistusprosessista. Laatu käsiteltiin tuohon aikaan tuotteiden ”virheettömyytenä” ja laadunhallinnassa keskityttiin virheiden tunnistamiseen ja niiden korjaamiseen ennen markkinoille vientiä. Laatuajattelu oli tuotekeskeistä ja korjaavia toimenpiteitä tehtiin vasta virheiden ilmettyä.

Toisen maailmansodan aikaan virheiden tarkkailusta siirryttiin laadunohjaukseen ja tilastollisten menetelmien hyödyntämiseen. Shewhart (katso alla) kehitti laadunohjauskortin, joka asetti prosessien vaihtelulle sallitut ylä- ja alarajat. Prosessia pidettiin tarpeeksi laadukkaana, jos sen vaihtelu säilyi näiden rajojen sisäpuolella. Rajat ylittävät tapaukset käsitettiin erityistapauksina ja jatkossa pyrittiin varmistamaan, ettei vastaavia tapauksia esiinny. Pyrkimyksenä oli siis prosessien vaihtelun pienentäminen ja sen myötä tasainen laatu.

Toisen maailmansodan jälkeen laadun käsite laajeni yksittäistä tuotetta laajemmaksi, tuoden mukaan *tuotesuunnittelun ja alihankinnan laadunvarmistuksen*. Tärkeä kehitysskaskel oli *yrityksen johdon vastuun korostaminen laatuasioissa*. Laadunvarmistuksen avulla pyrittiin parantamaan koko yrityksen toimintaa systemaattisesti. Laaduntarkkailusta alettiin siirtyä enemmän ennaltaehkäisevään toimintaan ja 1960-luvulla lanseerattiinkin kuuluisa ”nolla virhettä” -konsepti. Tämän lähestymistapa keskittyi työntekijöiden motivaatioon ja laatu tietoisuuteen, ja oletuksena oli täydellinen työskentelytapa. Toimintaa pyrittiin kehittämään niin, ettei laatu virheitä syntyisi lainkaan.

Nykyään puhutaan kokonaisvaltaisesta laadunhallinnasta TQM (Total Quality Management), jonka mukaan laatua tarkastellaan entistä laajemmin kaikissa yrityksen toiminnoissa. Laadun lähtökohtana nähdään asiakas, jonka tarpeiden pohjalta syntyy kaikki laadukas toiminta. *Laatuajattelu koskee siis koko sitä prosessia, jonka seurauksena syntyy tuote tai palvelu*. Filosofian kolme päätekijää ovat: jatkuva parantaminen, jokaisen työntekijän osallistuminen laadunhallintaan sekä mahdollisimman tarkka asiakas tarpeiden tyydyttäminen. (Stevenson 2009, ss. 403–499; Lecklin 2006, ss. 15–23.)

Nykyaikainen laatuoppi pohjautuu paljolti ns. laatu guruihin, joihin laatu kirjallisuudessa monesti viitataan. Tämän vuoksi tässä yhteydessä käsitellään hyvin lyhyesti muutama tärkein vaikuttaja sekä heidän filosofiansa.

Walter A. Shewhart (1891-1967) kehitti 1920-luvulla teorian prosessien vaihtelusta. Häntä pidetään tilastollisen laadunhallinnan isänä ja hänet muistetaan parhaiten ns. valvontakortista. Valvontakortin avulla voidaan valvoa prosessin vaihtelua ja jos korttiin asetetut virherajat ylittyvät, ryhdytään korjaaviin toimenpiteisiin. Shewhartin laadunhallinta perustui puhtaasti teknisiin menetelmiin, mutta hänen työllään oli suuri vaikutus W. Edwards Demingin sekä Joseph Juranin ajatteluun.

W. Edwards Deming (1900-1993) mukaan laaduttomuus ei johdu yksittäisistä työntekijöistä, vaan itse systeemistä. Hän julkaisi kuuluisan 14 kohdan listan niistä elementeistä, jotka ovat välttämättömiä laadun takaamiseksi. Deming käytti tilastollisia menetelmiä, mutta korosti vahvasti johdon vastuuta laadunhallinnassa. Hänen mukaansa prosessien vaihtelun vähentäminen on tärkeää, mutta vaihteluista täytyy erottaa kaksi osaa: nor-

maalivaihtelu sekä erityisyys. Normaalivaihtelu kuuluu jokaiseen prosessiin, eikä siihen kannata kiinnittää liikaa huomiota. Tärkeitä ovat sen sijaan erityisyys, jotka tulisi poistaa systeemistä lopullisesti. Shewhartin verrattuna Deming lisäsi laadunhallintaan enemmän psykologista puolta. Hän ajatteli, että työntekijät ovat luonteeltaan motivoituneita ja haluavat oppia, mutta monesti yrityksen johto tahattomasti tekee asioita, mitkä vähentävät työntekijöiden motivaatiota. Demingin kuuluisin työkalu on ns. Demingin ympyrä (PDCA -ympyrä), jota käsitellään tarkemmin luvussa 4.3.4

Joseph M. Juranin (1904–2008) laatufilosofia on hyvin lähellä Demingin ajattelua. Hän kuitenkin painotti vähemmän tilastollista laadunhallintaa, mutta korosti samoin johdon roolia laadunhallinnassa. Juran totesi, että 80 % laatuongelmista on johdon hallittavissa ja näin johdon vastuu laatuasioissa on erittäin suuri. Juran muistetaan *Juranin trilogias- ta*, jonka kolme kohtaa ovat: laadun suunnittelu, laadunhallinta sekä laadun parantaminen. Juran myös ensimmäisten joukossa toi esille laatukustannukset ja niiden mittaamisen.

Philip Crosby (1926–2001) ei hyväksynyt muiden laatugurujen ajattelua siitä, että systeemiin kuuluu aina tietty määrä laaduttomuutta. Crosby lanseerasi lauseen ”nolla virhettä” ja painotti ennaltaehkäiseviä toimia täydellisen laadun saavuttamiseksi. Crosby totesi, että laadun mitta on vaatimuksista poikkeamisen hinta. Hänen mielestään hyvän laadun saavuttaminen on suhteellisen helppoa ja että huonon laadun kustannukset on reilusti luultua suuremmat. Crosbyin kuuluisan kirjan ”Quality is Free” mukaan huonosta laadusta syntyvät kustannukset ovat niin suuria, että ennaltaehkäiseviä toimintoja ei tule ajatella kuluina, vaan pikemminkin investointeina. Hänen mukaansa ennaltaehkäisyn hyödyt ovat paljon suuremmat kuin siihen kuluvat kustannukset.

Kaoru Ishikawa (1915–1989) muistetaan parhaiten syy-seuraus-diagrammistaan, jota kutsutaan myös kalanruotokaavioksi. Hän keksi ensimmäisenä maailmassa niin sanotun *sisäisen asiakkaan* käsitteen, jonka mukaan prosessin seuraava työntekijä toimii aina edellisen vaiheen asiakkaana. Näin Ishikawa rakensi systeemiin sisäisen laadunhallinnan. Tämä ajattelumalli koski kaikkea yrityksen sisällä olevaa toimintaa. (Stevenson 2009, ss. 409–412.)

4.3 Prosessiajattelu ja laadun parantaminen

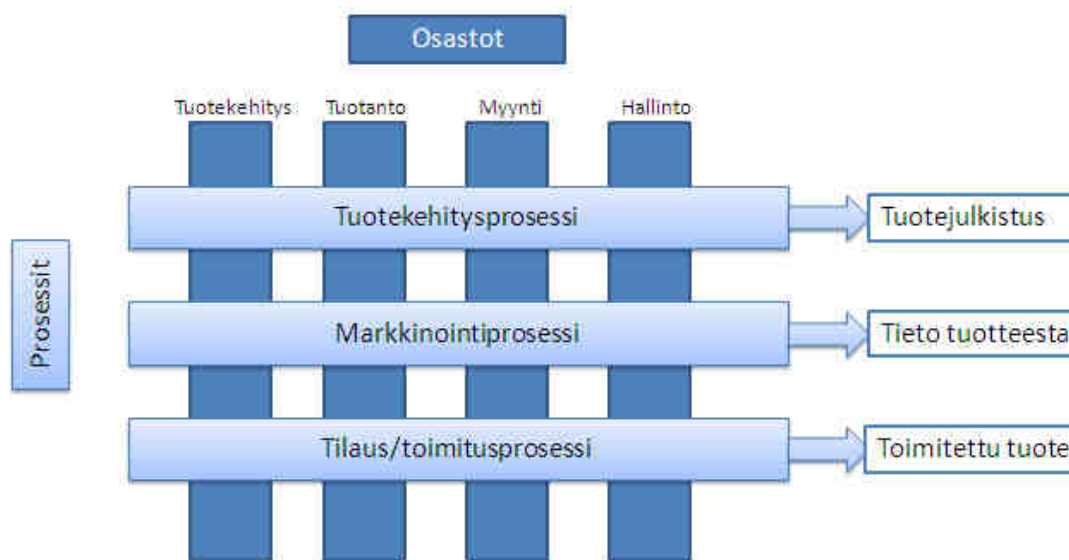
Laadun parantaminen ja prosessimainen ajatustapa liittyvät läheisesti toisiinsa. Ennen nykyaikaisia funktionaalisia organisaatioita kaikella tekemisellä oli selkeä tavoite, jonka eteen koko ryhmä teki töitä. Kun teollistumisen kautta työt pilkottiin pienempiin osiin, syntyi organisaatioiden jakautuminen erillisiksi osastoiksi tai yksiköiksi. Samalla toiminnan tavoite jakautui pienemmiksi osiksi, kun jokainen osasto oli vastuussa vain omasta tekemisestään. Osastojen välille syntyi sisäisiä muureja ja siten niiden keskinäinen yhteistoiminta väheni. Kukaan ei enää välttämättä vastannut koko siitä prosessista,

jonka seurauksena syntyi valmis tuote tai palvelu. Tällainen työnjako toimi hyvin vaikeaprosesseja toteuttavassa liikeympäristössä, kuten liukuhihnatyössä. Nykyään kuitenkin liiketoiminta on monimutkaisempaa, eivätkä prosessit välttämättä ole niin vakioita. Prosessienajattelussa on ikään kuin palattu vanhaan ajattelumalliin, missä koko toiminnalla on selkeä tavoite ja sen eri osat kytkeytyvät toisiinsa toimintoketjujen kautta.

4.3.1 Prosessin määritelmä

Prosessi määritellään loogiseksi ketjuksi toimintoja, joka muuttaa siihen tulevan syöteen halutuiksi suoritteiksi. Prosessit kuluttavat resursseja, joita ovat esimerkiksi ihmiset, koneet, ohjaus, tiedot, taidot. Koska prosessit muodostuvat toisiinsa linkittyvistä toiminnoista, sen suorituskyvyn tai tehokkuuden määrää aina sen heikoin osa. Jos yksi osa toimii huonosti, vaikuttaa se heikentäväsi koko toimintaketjuun. Toisaalta taas vaikka yksi osasto toimisi tehokkaasti, ei sillä ole suorituskyvyn kannalta merkitystä, jos prosessi sisältää heikommin toimivia osastoja. Vanha sanonta pitää siis paikkaansa: ”ketju on niin vahva kuin sen heikoin lenkki”. (Einistö 2011.)

Funktionaalisen organisaatorakenteen ongelmista ja prosessin määrittelystä päästään siihen, miten prosessimainen ajattelutapa pyrkii ratkaisemaan edellä mainitut ongelmat. Prosessimainen ajattelutapa pyrkii minimoimaan osastojen väliset rajapinnat, mikä tarkoittaa entistä parempaa yhteistyötä halutun tavoitteen saavuttamiseksi. Tilannetta on helpoin havainnollistaa kuvan 4.1 avulla, missä funktionaalisen organisaation osastojen poikki on piirretty kolme eri prosessia: tuotekehitys, markkinointi ja tilaus/toimitusprosessi.



Kuva 4.1. Prosessien kytkeytyminen yrityksen eri osastoihin (mukailtu lähteestä Lecklin 2006, s. 126.)

Prosessille on määrättävä omistajat, jotka vastaavat koko prosessin suorituskyvystä ja kehittämisestä. Eri prosessit liittyvät toisiinsa niin, että edellisen prosessin tuotos toimii seuraavan prosessin käynnistäjänä. (Lecklin 2006, ss. 126–129.)

4.3.2 Miten prosessit liittyvät laatuun

Kaikki laatu syntyy laadukkaan toiminnan tuloksena. Kaikki toiminta taas liittyy johonkin sellaiseen prosessiin, jonka avulla asiakkaan tarpeet muunnetaan valmiiksi tuotteiksi. Niinpä prosessien parantaminen tuottaa automaattisesti parempaa laatua. Prosessien täytyy vastata läheisesti yrityksen strategiaa. Strategia on suunnitelma siitä, mitä aiotaan tehdä ja kuinka se toteutetaan. Prosessit toimivat taas strategian toteuttajia. Tärkein kysymys onkin, toteuttavatko nykyiset prosessimme haluttuja lopputuloksia? Vastaavatko ne strategiaamme? Seuraavaksi käsitellään prosessien parantamisen työkaluja sekä yleistä laadunhallintaa.

4.3.3 Laadun parantaminen

Kirjallisuudessa on esitelty lukuisia laadun parantamiseen tarkoitettuja menetelmiä ja työkaluja. Ensimmäisiä yleisesti tunnettuja menetelmiä olivat laadunhallinta (Quality Control, QC) sekä matemaattisempi menetelmä eli tilastollinen laadunhallinta (Statistical Quality Control, SQC). Näissä menetelmissä keskityttiin tiettyyn tuotteeseen tai osastoon, eikä laatua käsitelty vielä kokonaisvaltaisesti. Tilastollinen laadunhallinta kehittyi edelleen kohti prosessien hallintaa, mitä kutsutaan tilastolliseksi prosessien hallinnaksi (Statistical Process Control, SPC).

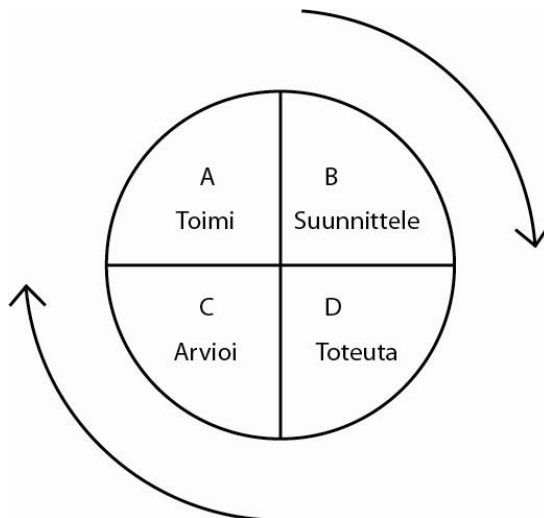
Laadun hallinta alettiin ymmärtää entistä laajempänä käsitteenä sen ulottuessa kaikkialle yrityksen toimintaan. Tästä laatuajattelutavasta käytetään nimitystä kokonaisvaltainen laadunhallinta (Total Quality Control, TQC). Kirjallisuudessa puhutaan myös koko yrityksen laajuisesta laadunhallinnasta (Companywide Quality Control, CWQC), joka korostaa kaikkien yrityksen osastojen osallistumista laadun hallintaan. Käsite laajeni edelleen yrityksen sidosryhmiin asti, josta käytettiin nimitystä (Groupwide Quality Control, GWQC). Nykyaikainen laatuajattelu painottaa johdon vastuuta, joten laadun parantamisen yhteydessä puhutaan laatujohtamisesta (Quality Management, QM) tai kokonaisvaltaisesta laatujohtamisesta (Total Quality Management, TQM). (Ishikawa 1991, pp. 2–3.)

Käsitteiden läpikäynnin tarkoitus on johdatella lukija siihen, mitä laadulla nykyään tarkoitetaan ja mitä menetelmiä sen parantamiseen on tarjolla. Käsitteiden tunnistaminen ilman niistä syntyvää toimintaa on kuitenkin hyödytöntä: laadun parantaminen vaatii jatkuvaa työtä, joka tapahtuu kehittämällä niitä prosesseja, joiden seurauksena yrityksen tuotteet syntyvät.

4.3.4 PDCA-ympyrä

Kokonaisvaltaisen laatujohtamisen tarkoitus on tunnistaa ja korjata laatuongelmat. Tehokas työkalu tähän tarkoitukseen on niin sanottu laatuympyrä eli Demingin -ympyrä, jonka tarkoituksena on kehittää laatua poistamalla ne juurisyyt, joista laatuongelmat

ovat peräisin. Menetelmän neljä eri vaihetta ovat suunnittelu, toteutus, arviointi ja toiminta. Ympyrää kutsutaan myös nimellä PDCA-ympyrä, jonka kirjaimet tulevat sen englanninkielisistä sanoista plan, do, check, act. Ympyrän eri vaiheet on esitetty kuvassa 4.2.



Kuva 4.2. PDCA-ympyrä – työkalu jatkuvaan laadunkehittämiseen (mukailtu lähteestä Järvinen et al. 2001, s. 9.)

Prosessin parantaminen alkaa suunnittelulla. Suunnittelu alkaa tiedon keruusta siitä prosessista tai ongelmasta, joka halutaan ratkaista. Tieto analysoidaan ja sen pohjalta tehdään parannussuunnitelma. Ennen toteutusvaihetta on vielä kehitettävä mittarit, joilla valvotaan kehityksen edistymistä.

Toteutusvaiheessa toimeenpannaan suunnitellut parannustoimenpiteet. Tämä vaihe edellyttää myös jatkuvaa tiedon keruuta, jotta nähdään kuinka toteutus toimii käytännössä. Toteutustavassa voidaan tehdä tarvittaessa korjaavia toimenpiteitä.

Arviointivaiheessa arvioidaan sitä, kuinka hyvin suunnitteluvaiheessa asetetut tavoitteet saavutettiin toteutusvaiheessa.

Jos tavoitteet saavutettiin, menetelmä kannattaa standardoida ja kouluttaa kaikille niille, jotka työskentelevät parannuskohteen parissa. Jos tavoitteisiin ei päästy, alkaa silmukka alusta: tarkastetaan edellisellä kerralla tehty suunnitelma, tehdään tarvittavat korjaukset ja toteutetaan ne. Tämän jälkeen arvioidaan toteutus ja niin edelleen. (Stevenson 2009, pp. 433–434.)

4.4 Yhteenveto

Tämän luvun sisältö toimi lyhyenä pohjustuksena työn myöhemmille osuuksille. Tarkoitus oli käsitellä yleistä laadun käsitettä ja sitä, miten laatuajattelu on kehittynyt ajan saatossa. Luvun lopussa esiteltiin lyhyesti laadun kehittämisen työkaluja sekä nykyaikaisia laadun filosofioita.

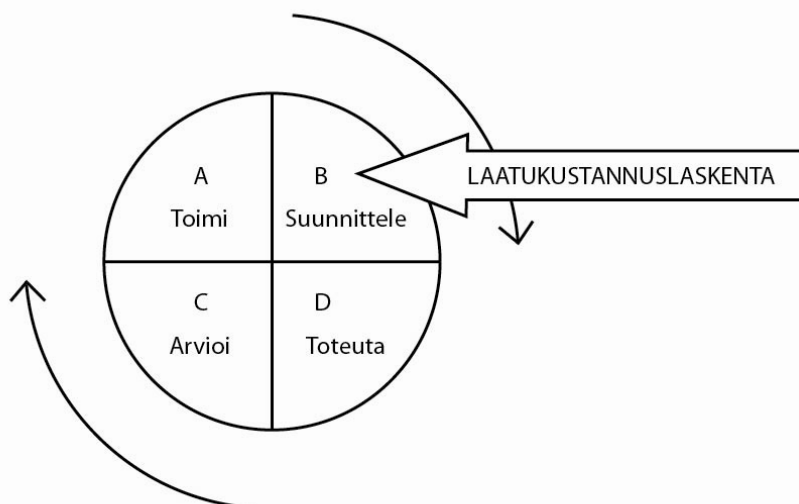
Lyhyt kirjallisuuskatsaus osoitti kuinka moninainen laadun maailma nykyään on. Määritelmiä on lukuisia ja selkeää rajausta laadun käsitteestä tuskin voidaan tehdä. Nykyisin laatu määritellään laajasti asiakkaiden näkökulmasta. Se nähdään asiakastarpeiden ja odotusten täyttämisenä, joka ohjaa kaikkea yrityksen toimintaa.

Laadun historia ylettyy aina vaihdantatalouteen saakka, jolloin keskityttiin lähinnä yksittäisten tuotteiden laadukkuuteen. Myöhemmin laatuajattelu kehittyi teollisen vallankumouksen myötä enemmän laadukkaan toiminnan varmistamiseen ja nykyään puhutaankin kokonaisvaltaisesta laatujohtamisesta (TQM).

Prosessimainen ajatusmaailma on ikään kuin paluuta vanhaan aikaan, jolloin tuotteiden suunnittelusta, valmistuksesta sekä myynnistä huolehti yksittäinen henkilö tai pieni ryhmä työläisiä. Prosessit määritellään loogiseksi ketjuksi toimintoja, jotka leikkaavat yrityksessä monen eri osaston läpi lisäten siten osastojen välistä yhteistyötä (kuva 4.1). Laatua voidaan parantaa kehittämällä niitä prosesseja, joiden seurauksena syntyy valmis tuote tai palvelu. Yksi hyödyllinen työkalu tähän tarkoitukseen on ns. Demingin ympyrä (kuva 4.2).

5 LAATUKUSTANNUKSET

Laatukustannusten laskentaa voidaan pitää yhtenä laadun kehittämisen työkaluna, joka liittyy läheisesti jatkuvaan laadun parantamiseen kuvan 5.1 osoittamalla tavalla. Laske-
malla laaduttomuudesta aiheutuvia taloudellisia menetyksiä, yritys voi suunnitella niitä toimenpiteitä, joilla laatuongelmat korjaantuvat. Käytännössä laatukustannustieto auttaa siis päätöksentekijöitä valitsemaan kaikkein tärkeimmät parannuskohteet.



Kuva 5.1. Laatukustannuslaskennan liittyminen jatkuvaan laadun parantamiseen (muokailtu lähteestä Järvinen et al. 2001, s. 38.)

Laatukustannuksista alettiin ensimmäisen kerran puhua vuonna 1951, jolloin laatuguru Joseph Juran julkaisi kuuluisan kirjansa *Quality Control Handbook*. Tuohon aikaan laatukustannuksiksi miellettiin lähinnä ne virheet, joiden poistaminen parantaisiin yrityksen tulosta. (Juran 1974, section 5.) Nykyään laskenta ulottuu laajemmalle alueelle ja mukaan lasketaan myös ennaltaehkäisy- sekä valvonnan kustannukset.

Lecklin (2006, s. 155) puhuu laatua edistävästä kustannuksista (1) ja huonon laadun kustannuksista (2). Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat siis laadun kehittämisen investointikustannukset ja toiseen virheistä ja väärin tehdyistä asioista syntyvät kustannukset. Nykyään laatukustannukset nähdään koko yrityksen toimintaa koskeviksi kustannuksiksi ja niitä esiintyy kaikilla yrityksen osa-alueilla. Kokonaisvaltaisen laatujohtamisen pyrkimyksenä onkin kustannusten leikkaamisen lisäksi menetysten minimointi. Menetyksillä

tarkoitetaan kaikkia huonon laadun aiheuttamia vaikutuksia yrityksen tuloihin, kustannuksiin ja varoihin. Tähän ryhmään kuuluvat muun muassa menetetty myynti ja katteet.

Silenin mukaan (1998, s. 63) työntekijät käyttävät jopa kolmasosan työajastaan tekemiensä virheiden korjaamiseen, hukassa olevien asioiden etsimiseen, huonon laadun selittämiseen asiakkaille sekä puutteellisten tietojen tarkastamiseen. Kaikki nämä toiminnot ovat turhaa työtä, jotka voitaisiin välttää tekemällä asiat heti ensimmäisellä kerralla oikein. Laaduton toiminta synnyttää laatukustannuksia, joilla Silenin mukaan tarkoitetaan *tuotantokustannusten ja niihin sisältyvien ylimääräisten kustannusten laaja-alaista tarkastelua*.

Kirjallisuudessa laatukustannusten määritelmiä on jälleen lukuisia ja täysin selkeää rajausta tuskin voidaan muodostaa. Tässä luvussa kuitenkin määritellään riittävällä tarkkuudella se, mitä laatukustannuksilla tarkoitetaan. Lisäksi esitellään yleisimpiä laatukustannusten jaotteluperusteita sekä pohditaan sitä, kannattaako laatukustannuksia ylipäättänsä laskea. Luvun loppupuolella käydään läpi tunnetuimpia laatukustannusten laskentamalleja sekä valaistaan laatukustannusten laskentaprojektin käytännön toteutustapoja sekä pohditaan laskentaan liittyviä haasteita.

5.1 Laskennan hyödyt

Perinteisinä laadun mittareina käytetään usein virheprosentteja, tuotosta tai esimerkiksi keskimääräistä virheiden esiintymistiheyttä. Vaikka kyseiset mittarit tuottavat hyödyllistä tietoa niiden kanssa läheisesti työskenteleville ihmisille, voivat ne olla vieraita käsitteitä yrityksen ylemmälle johdolle. Ylemmällä johtotasolla yhteinen kieli on raha, joka toimii selkeänä laadun mittarina ja mahdollistaa organisaation eri osastojen välisen vertailun keskenään. Ensimmäisen laatukustannusten raportointijärjestelmän kehitti Armand V. Feigenbaum 1950-luvulla, johon yhdistyi kaikki laadun kehittämiseen, ennaltaehkäisyyn ja virheisiin liittyvät kustannukset. (Feigenbaum 1991.)

Laatukustannuslaskennan kannattavuus jakaa mielipiteitä eri kirjoittajien välillä. Esimerkiksi Edward Deming kyseenalaistaa laatukustannuslaskennan ja perustelee näkemystään sillä, että työ on turhaa, koska joka tapauksessa vain pieni osa todellisista kustannuksista voidaan saada selville. Deming ei kuitenkaan väheksy laadun parantamista, vaan uskokaan rahallisen mittaamisen olevan hyödyllistä. (Deming 2000, pp 1–17.) Täysin vastakkaisen mielipiteen tuo asiaan toinen tunnettu laatu guru Joseph Juran (kato luku 4.2), jonka mukaan yritysjohto ei tee lainkaan päätöksiä ilman rahamääräistä tietoa. Hänen mukaansa raha ratkaisee päätöksenteossa ja siksi laatukustannuslaskenta on välttämätöntä. (Juran 1974, section 5.)

Laatukustannusten laskenta tarjoaa yritysjohdolle tehokkaan tavan arvioida toiminnan taloudellista tilaa. Se luo perustan kehitystoimenpiteiden priorisoinnille sekä yritysten

väliselle vertailulle. (Summers 2005, s. 173). Järvinen et al. (2001, s. 18) kuitenkin kritisoivat voimakkaasti jälkimmäistä väitettä yritysten välisestä vertailusta toteamalla, etteivät laatukustannukset voi toimia vertailukelpoisina mittareina, koska monesti laskentatapa ja laskennan käytännöt eroavat suuresti eri yritysten välillä. Jokainen yritys siis laskee laatukustannuksia eri tavalla ja siksi tätä tietoa voidaan ainoastaan hyödyntää oman yrityksen sisällä esimerkiksi seuraamalla kehitystä ajan kuluessa.

Gryna (2001, ss. 19–20) perustelee laatukustannuslaskentaa toteamalla, että laatukustannuslaskenta tehostaa yrityksen eri osastojen välistä kommunikointia. Yritysjohdon on helpompi keskustella esimerkiksi suunnitteluosaston ja tuotekehitysosaston kanssa, kun käytössä on ”yhteinen kieli”. Gryna mainitsee laatukustannuslaskennan etuina myös asiakastytyväisyyden paranemisen. Laskenta tuo esille mahdolliset laatuongelmat, jotka poistamalla varmistetaan tuotteiden ja palveluiden virheettömyys ja sen myötä myös asiakastytyväisyys. *Kustannustieto ei itsessään ole hyödyllistä, ellei niiden määrän ja juurisyiden pohjalta tehdä suunnitelmaa toiminnan kehittämiseksi.* Grynan mukaan laatukustannuslaskennan tuottaman tiedon pohjalta on tehtävä kattava strateginen suunnitelma, joka korostaa johdon asettamia tavoitteita.

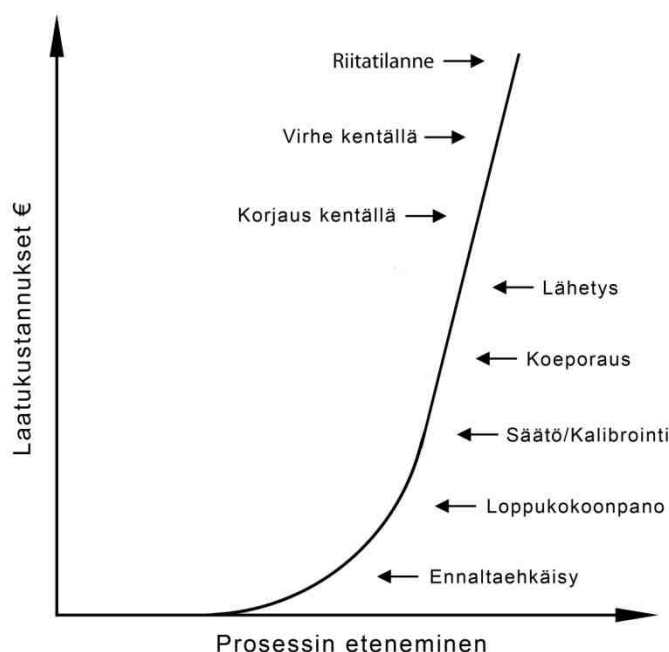
Lähes kaikessa laatukustannuslaskentaa koskevassa kirjallisuudessa laskentaa perustellaan yritysjohdon näkökulmasta ja monet eri kirjoittajat painottavat rahamääräisen tiedon merkitystä. Usein todetaan, että raha on ainut mittari, joka kiinnittää ylemmän johdon huomion. Raha toimii motivoivana tekijänä, koska parannustoimenpiteet voidaan perustella konkreettisesti.

Laatukustannuslaskennan tarkoitus ei voi olla laskenta itsessään, vaan tehtävänä on osoittaa tärkeimmät kehityskohteet. Tämän perusteella voidaankin kysyä, onko raha todella ainut käytettävissä oleva mittari? Järvisen et al. (2001, ss. 19–20) toteavat edellisestä kappaleesta poiketen, että hyödyllistä tietoa voidaan tuottaa myös eirahamääräisillä mittareilla. Tämä osoittaa sen, ettei valitulla mittarilla tai absoluuttisella rahamäärällä ole merkitystä: olipa valittu tapa mikä hyvänsä, sen tarkoitus on ainoastaan auttaa kaikkein tärkeimpien kehityskohteiden valinnassa. Järvinen et al. (2001, s. 20) kuitenkin toteavat, että jos rahan sijasta käytössä on esimerkiksi pisteytys, ei se riittävästi motivoi päätöksentekijöitä (eikä muita työntekijöitä), joten jälleen kerran voidaan todeta, että raha ratkaisee.

Shepherd (2002, s. 340) perustelee laatukustannuslaskentaa prosessien toiminnan ja suorituskyvyn kautta. Tutkimuksen mukaan suurin osa laatukustannuksista aiheutuu tuotantoprosesseista. Laskennan tarkoitus on tarkkailla yrityksen sisäisiä virheitä sekä toimittajien laatuvirheitä ja sitä kautta tunnistaa tarvittavat parannuskohteet. Kustannuksia laskettaessa apuna toimivat usein yrityksen omat toiminnanohjaus- sekä kustannuslaskentajärjestelmät. Laskennassa joudutaan kuitenkin usein tukeutumaan arvioihin, koska yrityksen oma kustannuslaskentajärjestelmä ei tue riittävästi laatukustannusten

laskentaa. Shepherd toteaaakin, että parhaiten laskentaa palvelisi luvussa 3 käsitelty toimintoperusteinen kustannuslaskenta.

Mitä myöhemmässä vaiheessa prosessia huonosta laadusta aiheutuvat virheet havaitaan, sen suuremmaksi nousevat siitä syntyvät kustannukset. Tilannetta havainnollistaa hyvin kuva 5.2, mihin on piirretty prosessin eri vaiheissa havaittujen virheiden laatukustannukset. Kuvaa katsomalla on helppo todeta, että tekemällä asiat heti ensimmäisellä kerralla oikein, voidaan laatukustannuksia pienentää huomattavasti. Laatukustannuslaskennan yksi tarkoitus onkin siirtyminen virheiden korjauksesta kohti ennaltaehkäisevää laadun parantamista.



Kuva 5.2. Laatukustannusten suuruus prosessin eri vaiheissa (mukailtu lähteestä Summers 2005, s. 175.)

Shepherd (2002, s. 340–341) tuo laatukustannuslaskentaan mielenkiintoisen näkökulman: oppimisen ja kasvun. Shepherd toteaa, että monesti henkilöstön kouluttaminen nähdään kustannuksena, mutta kysyykin samassa yhteydessä, että mitä kustannuksia kouluttamaton henkilöstö sitten aiheuttaa. Tämä ”ihmisnäkökulma” nostaa esille henkilöstöön liittyviä laatukustannuksia. Tärkeimpinä kustannusten aiheuttajina voidaan mainita henkilöstön huono motivaatio, työtyytymättömyys ja sen aiheuttamat poissaolot, koulutuksen kustannukset sekä huonosta henkilöstöstä aiheutuva asiakkaiden tyytymättömyys.

Koska raha ratkaisee, on luvun lopussa hyvä tuoda esille eri kirjoittajien näkemykset laatukustannusten suuruudesta verrattuna yrityksen liikevaihtoon. Kyseiset arviot löytyvät taulukosta 5.1.

Taulukko 5.1. Arvioita laatukustannusten suuruudesta verrattuna liikevaihtoon.

Kirjoittaja/lähde	% osuus liikevaihdosta	Selite
Dale (1994, s. 209)	5 – 25	riippuen toimialasta
Gryna (2001, ss. 28 - 29)	15	teollisuusyritys
	30	palveluyritys
Silen (1998, s. 65)	20	tuotantoyritys
	35 – 40	palveluyritys
Grosby (Dale et al. 1999, s. 32)	25 – 30	tuotantoyritys
	40 – 50	palveluyritys

Suomalaisten yritysten laatukustannuksia tutkineet Järvinen et al. (2001, s. 17) päätyivät kuitenkin kirjallisuudessa esitettyjä lukuja pienempään tulokseen. Heidän tutkimuksensa osoittaa, että Suomessa laatukustannusten osuus liikevaihdosta on ainoastaan 10 %. Alhainen prosentti ei kuitenkaan tarkoita sitä, että suomalaiset yrityksen olisivat muita yrityksiä parempia. Tulosta perustellaan sillä, että laatukustannuslaskennan avulla on pystytty tunnistamaan kehityskohteet ja korjaavien toimenpiteiden jälkeen yrityksen tulos on parantunut.

5.2 Laatukustannusten jaotteluja

Kirjallisuudessa laatukustannusten jakoperusteita löytyy useita. Moni näistä jaotteluista on kuitenkin saanut vaikutteita Armand Feigenbaumin 1950-luvulla kehittämästä PAF -mallista, jonka kirjaimet tulevat sen kolmesta laatukustannuskategoriasta: ennaltaehkäisyyn kustannukset (*preventive costs*), valvontakustannukset (*appraisal costs*) ja virhekustannukset (*failure costs*). (Feigenbaum 1956.) Myöhemmin Feigenbaum kehitti mallia eteenpäin jakamalla virhekustannukset edelleen sisäisiin ja ulkoisiin virhekustannuksiin, jolloin mallia alettiin nimittää PAFF -malliksi.

PAFF -malli on yksi tunnetuimmista alan kirjallisuudessa. Ennaltaehkäisevillä kustannuksilla tarkoitetaan niitä kustannuksia, jotka syntyvät toiminnasta, jonka avulla pyritään estämään huonon laadun syntymistä. Valvontakustannukset syntyvät nimensä mukaisesti laadunvalvontaan käytetyistä panoksista, kuten tarkkailuista ja testauksista. Sisäisillä virhekustannuksilla tarkoitetaan kustannuksia, jotka syntyvät ennen kuin tuote on luovutettu asiakkaalle. Tähän kategoriaan kuuluvat siis kaikki yrityksen sisällä syntyvät huonon laadun virhekustannukset. Ulkoisilla virhekustannuksilla tarkoitetaan asiakkaan havaitseman huonon laadun kustannuksia ja tähän ryhmään kuuluvat muun muassa takuumaksut, reklamaatiot sekä menetetyt myyntituotot. Tämän jaottelumallin takana on idea siitä, että kun ennaltaehkäiseviä laatukustannuksia lisätään, virhekustannukset vähenevät ja laatukustannukset kokonaisuudessaan pienenevät. (Feigenbaum 1991.)

Vaikka PAFF -malli onkin kirjallisuudessa saanut paljon hyväksyntää, löytyy sen käytökelpoisuudesta myös kritiikkiä. Dale & Plunkett (1999, s. 58–64) mainitsevat syitä, miksi PAFF -malli ei sovellu kokonaisvaltaisen laadunhallinnan työkaluksi: (1) yrityksen tietojärjestelmät eivät tue riittävästi laatukustannusten laskentaa, (2) sama laatukustannus voi liittyä moneen PAFF -mallin kategoriaan ja siksi jaottelua on vaikea tehdä, (3) kustannusten jaottelu herättää kiinnostusta ainoastaan laatuorganisaatiossa, (4) jaottelu ei ole sopiva kustannustiedon hyväksikäytön kannalta.

Laatukustannusten jakoperusteita on PAFF -mallin lisäksi olemassa useita muita. Niinpä lukijan on hyvä tiedostaa niistä tärkeimmät, yleisimmät ja tunnetuimmat, joita käsitellään seuraavaksi:

- Crosby (1996) luokittelu muistuttaa läheisesti Feigenbaumin mallia. Hän jakaa laatukustannukset kahteen kategoriaan, jotka ovat kustannukset yhdenmukaisuudesta (*cost of conformance*) ja kustannukset epäyhdenmukaisuudesta (*cost of non-conformance*). Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat PAFF -mallista tutut ennaltaehkäisyyn sekä valvonnan kustannukset. Toinen ryhmä pitää sisällään sisäiset ja ulkoiset virhekustannukset.
- Yksinkertaisemman jaottelumallin esittää Harrington (1991, s. 191), joka jakaa laatukustannukset välittömiin sekä välillisiin laatukustannuksiin. Välittömät sisältävät sellaisia kustannuksia, joihin voidaan vaikuttaa. Tähän kuuluvat muun muassa laadunhallintaan liittyvät kustannukset sekä huonon laadun kustannukset. Välilliset laatukustannukset syntyvät enemmän asiakkaan näkökulmasta ja tähän kuuluvat muun muassa asiakastytymättömyydestä sekä maineen menetyksestä aiheutuvat kustannukset.
- Dale (1994, s. 209) käyttää jakoperusteena yrityksen toimintoja. Tämän mallin perustana ovat yrityksen eri sidosryhmät. Laatukustannukset jaotellaan sen perusteella, liittyvätkö ne yrityksen omiin prosesseihin, asiakkaisiin, tavarantoimittajiin vai alihankkijoihin. Dale pitää tätä mallia hyvänä, koska se on enemmän sidoksissa yrityksen toimintoihin ja siten myös yrityksen työntekijät ymmärtävät paremmin, mistä laatukustannukset syntyvät.
- Yhden näkökulman laatukustannusten jaotteluun tuovat Oakland ja Porter (1995), joiden mukaan monesti laatukustannukset voidaan sijoittaa mihin tahansa PAFF-mallin kategoriaan (ennaltaehkäisy, valvonta, virhe) ja siksi he suosittelevat laatukustannusten prosessimallia. Tässä mallissa kustannukset on jaettu Crosby mukailleen yhdenmukaisuuden ja epäyhdenmukaisuuden kustannuksiin. Kuitenkaan tämän tarkempaan jaotteluun mallissa ei pyritä. Yhdenmukaisuuden kustannukset syntyvät silloin, kun prosessi toimii oikein ja asiat tehdään heti ensimmäisellä kerralla oikein. Epäyhdenmukaisuuden kustannukset tulevat taas päinvastoin siitä, kun prosessi ei toimi suunnitellulla tavalla ja siinä esiintyy häjontaa.

Laatukustannusten luokittelu helpottaa tietojen keräämistä ja kustannusten laskentaa. Luokittelu tulee olla riittävän tarkkaa, jotta kustannusten syiden selvittäminen helpottuu ja yritys tunnistaa riittävällä tarkkuudella vaadittavat kehityskohteet. Liian yksityiskoh- tainen jaottelu teettää kuitenkin ylimääräistä työtä, eikä tuo laskentaan lisäarvoa. Jaotte- lun tarkkuus täytyy pitää tasolla, joka parhaiten palvelee yrityksen tavoitteita. Seuraa- vaksi esitellään kirjoittajan mielestä selkein jaottelu, joka perustuu perinteiseen PAFF- malliin. Selkeyden lisäksi tätä mallia on kirjallisuudessa analysoitu eniten ja sen jaottelu on melko vakiintunutta. Laatukustannukset perinteisen nelijaon mukaan löytyvät taulu- kosta 5.2. Taulukkoon on poimittu kustannuslajeja monen eri kirjoittajan näkemyksistä.

Taulukko 5.2. Laatukustannusten jaottelu PAFF-mallin mukaisesti (mukailtu lähteistä Lecklin 2006, ss. 155–158; Järvinen et al. 2001, s. 23; Gryna 2001, ss. 2–24.)

Ennaltaehkäisyyn kustannukset	Valvontakustannukset
Laatukoulutus Toiminnan suunnittelu Prosessien kehittäminen Prosessien valvonta Laadukkaan johtamisjärjestelmän rakentaminen Laatuorganisaatio Työolosuhteiden ja työvälineiden suunnittelu Tiedon keruun ja analysoinnin suunnittelu Laaturaporttien suunnittelu Henkilöstön motivointi Laatuauditoinnit Laitteiston kunnossapito Toimittajien toimintojen arviointi Tuotesuunnittelu	Tuotteiden lopputestaus Laadun mittaus Auditoinnit Laboratorio Tuotteiden hyväksyntä Katselmukset Testaukset ja koeajot Laatutiedon keruu ja analysointi Virheiden käsittelyrutiinit Valvonta- ja mittalaitteiden ylläpito Asiakkaalle lähetettävien dokumenttien valmistaminen Vastaanottotarkastukset ja -testaukset
Sisäiset virhekustannukset	Ulkoiset virhekustannukset
Uusintatyöt Hylätyt tuotteet ja työ Puutteellisen informaation korjaaminen Vika-analyysit Toimittajien aiheuttamat uusinta- ja korjaustyöt Korjaavat prosessimuutokset Tuotteen hävittäminen Tukitoiminnot uusintatöihin Hinta-alennukset Hylätyjen tuotteiden katetuotto Virheiden tekeminen Ylityöt/jouto-aika Tyhjät kiinteistöt Korjauslinjat/selvitysosastot Tietojärjestelmähäiriöt Aiheettomat poissaolot Toimittajien huono laatu Kapasiteettihäviöt Virheet inventaarissa Arvoa lisäämättömät toiminnot Tuotannon uudelleenjärjestelyt	Takuukustannukset Vahingonkorvaukset Myöhästymiskorvaukset Rästitoimitusten kustannukset Viivästymiskorvaukset Alennukset tuotevirheistä Menetetty myyntituotto Palautettujen tuotteiden jakelukustannukset Laatuongelmiin liittyvät matkakustannukset Maksuajan muutokset Nykyisten asiakassuhteiden menettäminen huonon laadun vuoksi Uusien asiakassuhteiden menettäminen huonon laadun vuoksi

Ennaltaehkäisyyn kustannukset syntyvät niistä panostuksista, joilla pyritään välttämään mahdolliset virhetilanteet ja laaturiskit. *Tämän kategorian kustannuksia tulee pikeminkin pitää investointina*, koska ne maksavat itsenä takaisin laadun parannuttua. Tyypillisiä kustannuksien aiheuttajia ovat suunnittelu, kehittäminen, koulutus, asiakkaiden odotusten ja tarpeiden selvittäminen sekä laatujärjestelmät. Laajasti voidaan todeta, että ennaltaehkäisyyn kustannukset liittyvät siihen, kun asiat tehdään heti ensimmäisellä kerralla oikein.

Valvontakustannukset liittyvät testaukseen ja laadun varmistamiseen. Valvonnalla pyritään siihen, että laatutaso pidetään halutulla tasolla. *Valvonta ei kuitenkaan vähennä virheiden määrää, vaan pyrkimyksenä on havaita laatu puutteet ennen tuotteen toimitusta asiakkaalle*. Mitä myöhemmässä vaiheessa virheet havaitaan, sitä suuremmat ovat niistä aiheutuvat kustannukset. Suurimmat kustannukset syntyvät silloin, kun laatu virhe huomataan vasta loppuasiakkaan toimesta (kato kuva 5.2).

Sisäiset virhekustannukset havaitaan yrityksen sisällä ja ne korjataan ennen tuotteen toimitusta asiakkaalle. Tyypillisiä kustannusten aiheuttajia ovat: turha työ, virheiden korjaus, hävikki, liian suuret varastot, väärät materiaalit, huono työn organisointi ja tiedon kulku, uusintatarkastukset sekä virheiden tutkiminen. Sisäisiin virhekustannuksiin luetaan myös menetetty myynti, jos oletetaan että kaikki tuotteet menevät kaupaksi täydellä kapasiteetilla toimittaessa.

Ulkoiset virhekustannukset syntyvät asiakkaan havaitseman laatu virheen korjauksista. Kustannuksia on usein vaikea arvioida, koska tähän ryhmään lasketaan myös huonosta laadusta johtuva imagon huonontuminen. Ulkoiset virheet ovat laatu kustannuksista kaikkein haitallisimpia. Lecklin (1999, s. 170) toteaa, että ATK-alalla virheiden korjaus testivaiheessa maksaa 10 kertaa enemmän ja tuotantokäytössä jopa 100 kertaa enemmän suunnitteluvaiheessa havaittuihin virheisiin verrattuna. (Silen 1998, ss.63–71; Lecklin 1999, ss. 169–173.)

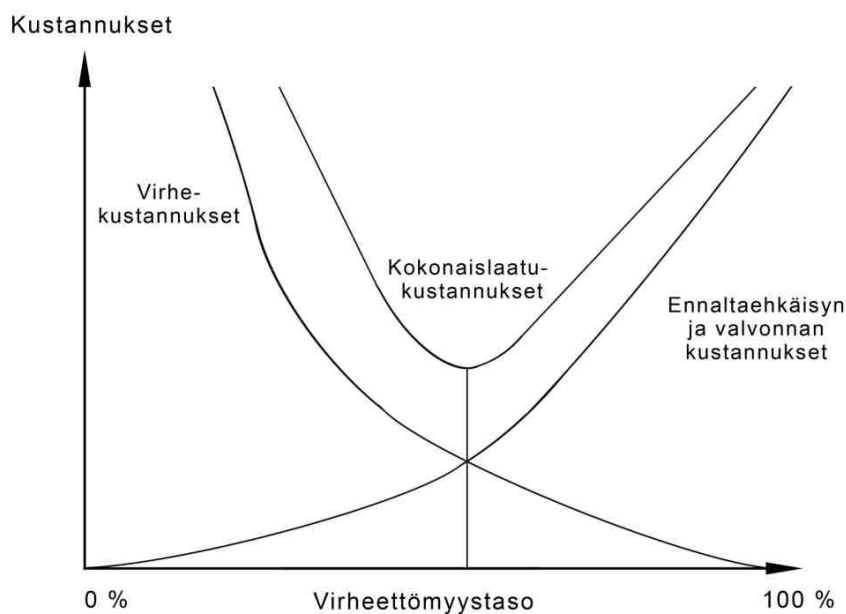
5.3 Laatukustannusmallit

Laatukustannusmallit auttavat ymmärtämään laatukustannusten eri kategorioiden välistä riippuvuutta. Kirjallisuudessa mallien käytännön soveltuvuudesta ollaan montaa eri mieltä, mutta monesti niiden hyödyksi mainitaan parempi ymmärrys laatukustannusten käyttäytymisestä. Tässä luvussa esitellään kolme tunnetuinta laatukustannusmallia.

5.3.1 Juranin malli

Juranin laatukustannusmalli on yksi tunnetuimmista malleista, joka pyrkii kuvaamaan laatukustannusten teoreettista käyttäytymistä. Mallin mukaan panostamalla ennaltaehkäisyyn ja valvontaan, voidaan virhekustannuksia pienentää kuva 5.3 mukaisesti. Ennal-

taehkäisyn ja valvonnan kustannusten kasvaessa virhekustannukset laskevat tiettyyn pisteeseen asti, mutta pyrittäessä kohti täydellistä virheettömyyttä virheiden korjaaminen muodostuu kalliimmaksi kuin itse virheet. Optimaalinen kustannustaso löytyy virhekustannuskäyrän (sisäiset ja ulkoiset) sekä ennaltaehkäisy- ja valvontakäyrän risteyskohdasta. Tällöin laadun kokonaiskustannukset ovat pienimmillään (ylin käyrä). Lähestyttäessä täydellistä virheettömyyttä, ennaltaehkäisyn ja valvonnan kustannukset nousevat äärettömiksi.



Kuva 5.3. Juranin laatukustannusmalli (mukailtu lähteestä Järvinen et al. 2001, s. 27.)

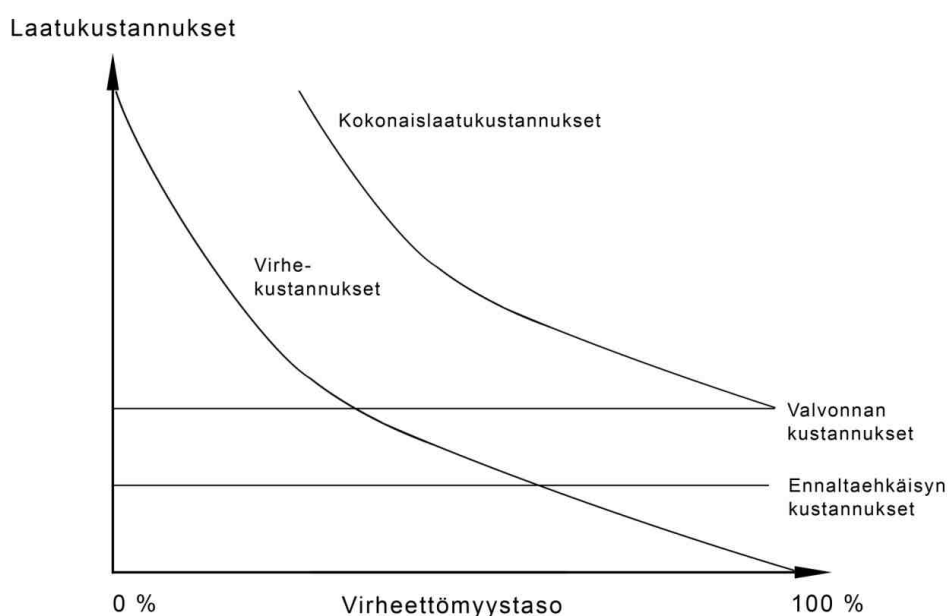
Juranin malli perustuu tunnettuun Pareto -periaatteeseen, jonka mukaan suurin osa laatu-kustannuksista syntyy vain muutamasta virhetyypistä. Poistamalla nämä virheet yrityksen tulos paranee huomattavasti, eikä kehitystyötä taloudellisista syistä johtuen kannata jatkaa, koska muuten kokonaiskustannukset nousevat ennaltaehkäisyn ja valvonnan kustannuksien myötä. Juran ei tarjoa mallin käytön tueksi empiirisiä tuloksia, mutta Pareto -periaate on sen sijaan osoitettu todeksi monissa tutkimuksissa. (Juran 1974, sections 5.11–5.15.)

Kirjallisuudessa on kritisoitu eri laatukustannuslajien vertailua ja ylipäättänsä laatukustannusten vähentämisen hyötyjä. Toisen maailmasodan jälkeen – aina 1970-luvun energiakriisiin asti – laatukustannuskategorioiden vertailu ja optimaalisen kustannustason etsiminen oli järkevää johtuen ns. myyjän markkinoista. Tuohon aikaan kaikki valmistettu tavara meni kaupaksi ja laatu koski lähinnä tuotteen teknisiä ominaisuuksia. Laatuun ei tarvinnut panostaa siinä mittakaavassa, mitä se nykyään sisältää, joten laatukustannusten minimointi oli ymmärrettävää. Nykyisen laatuajattelun mukaan kustannusten minimointi ei pidä olla tärkein tavoite, vaan parannuskohteet tulee valita asiakkaiden – sekä sisäisten että ulkoisten – tarpeiden pohjalta. (Järvinen et al. 2001, s. 28.)

5.3.2 Nollavirhemalli

Perinteisen (Juranin) mallin mukaan virhekustannukset laskevat, kun ennaltaehkäisy- ja valvonnan kustannukset nousevat. Sama pätee myös toiseen suuntaan: jos ennaltaehkäisyä ja valvontaa vähennetään, virhekustannukset kasvavat. Mallin mukaan laatu-
kustannuksille löytyy optimaalinen taso ja jos yritys parantaa laatua optimaalista tasoa enemmän, ei se taloudellisesti ole kannattavaa. Teorian mukaan yrityksen ei siis kannata parantaa toimintaansa jatkuvasti niin, että tavoitellaan täydellistä laatua (nolla virhettä).

Juranin mallia on kritisoitu kysymällä seuraavaa: tarvitaanko todella ääretön panostus täydellisen virhetason saavuttamiseksi? Eikö jatkuvalla parantamisella ole mahdollista saavuttaa taso, missä ei esiinny lainkaan laatuvirheitä? Nollavirhemallin mukaan laadun kokonaiskustannukset pysyvät aina minimissään, kun saavutetaan täydellinen virheettömyyden taso. Tilannetta selventää kuva 5.4. Mallin ajatus pohjautuu jatkuvan parantamisen filosofiaan, jonka mukaan laatu on ilmaista ja aina on halvempaa tehdä asiat heti ensimmäisellä kerralla oikein.



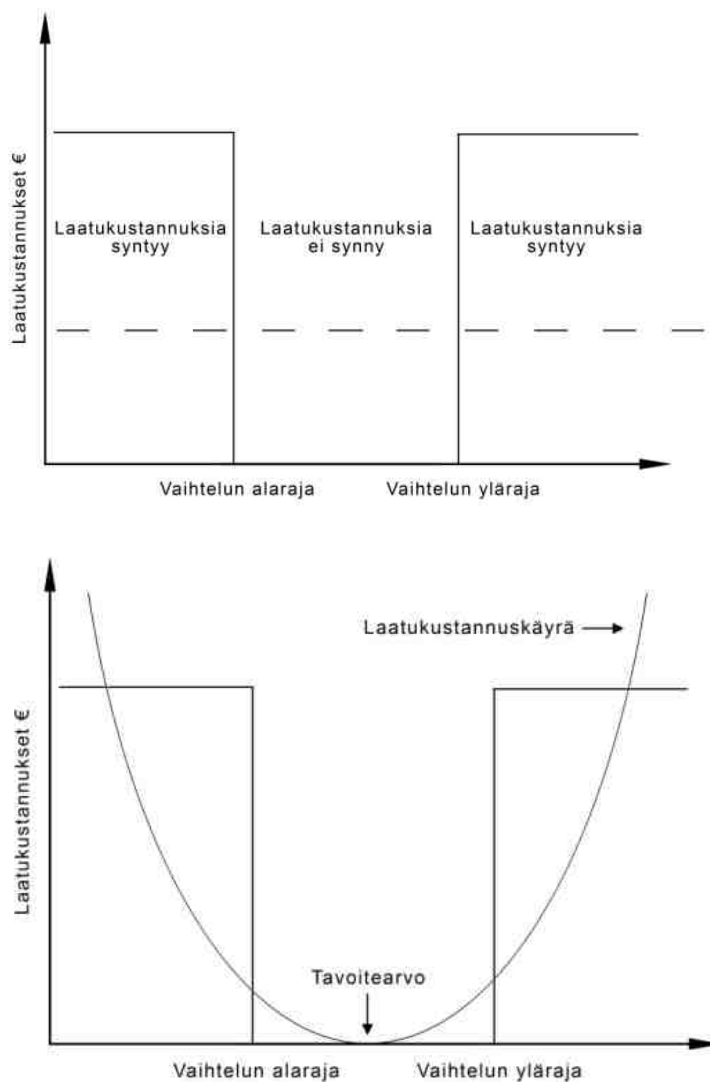
Kuva 5.4. Laatukustannusten käyttäytymistä kuvaava nollavirhemalli (mukailtu lähteestä Ittner 1994, p. 115.)

Laadun kokonaiskustannukset eivät 100 % virheettömyystasolla nollavirhemallissa nouse äärettömiksi, toisin kuin Juranin-mallissa. Selitykseksi tähän on tarjottu muun muassa automaattisten tarkastuksien käyttöönottoa, jonka kustannukset ovat kiinteät tarkastusten lukumäärästä riippumatta. Lisäksi mallia on perusteltu jatkuvan parantamisen kulttuurilla, missä jokainen työntekijä toimii itse laadunvalvojana pitkin tuotantoprosessia. Laaduntarkkailijoita voidaan tällöin luopua ja vikatilanteisiin pystytään puuttumaan nopeammin kuin ennen. (Schneiderman 1986.)

Nollavirhemalli saa tukea myös Juranilta itseltään, joka myöhemmissä teoksissaan toteaa, että nykyinen tekniikka mahdollistaa täydellisen virheettömyyden ilman, että kokonaiskustannukset nousevat äärettömään. (Gryna 1988, section 4.)

5.3.3 Taguchin malli

Kolmas laatukustannusmalli on saanut nimensä japanilaisen tutkijan Genichi Taguchin mukaan. Malli kritisoi nollavirhemallia, jonka mukaan tuote on virheetön niin kauan, kun tuotantoprosessin hajonta pysyy ennalta määriteltujen tavoitearvojen sisällä. Tässä tilanteessa laatukustannuksia ei synny lainkaan. Taguchin mukaan kuitenkin tuote, joka juuri ja juuri pysyy tavoitearvojen sisällä, ei ole sen parempi kuin tuote, joka hieman ylittää vaihtelurajat. Tästä syystä Taguchi esittääkin, että kustannuksia syntyy heti, kun tuote ei ole halutussa ideaaliarvossaan. Tilannetta havainnollistaa kuva 5.5:



Kuva 5.5. Perinteisen laatukustannusmallin vertailu Taguchin laatukustannusmalliin (mukailtu lähteestä Järvinen et al. 2001, s. 31.)

Ylempi osa kuvasta esittää perinteistä laatukustannusmallia, jossa kustannuksia ei synny lainkaan jos tuotantoprosessin vaihtelu pysyy halutun vaihteluvälin sisällä. Alempi kuva taas esittää Taguchin mallia, missä kustannusten syntyä ei nähdä yhtä jyrkkänä kuin perinteisessä mallissa: kustannuksia syntyy siis myös tavoitearvojen välissä ja ne kasvavat jyrkästi mitä enemmän tuote poikkeaa tavoitearvostaan. (Taguchi & Clausing 1990.)

Prosessien vaihtelusta aiheutuvat kustannukset voidaan laskea kaavalla (1), jota kutsutaan nimellä *Quality Loss Function*. Kaavan mukaan pienikin vaihtelu tavoitearvosta synnyttää kustannuksia ja kustannukset kasvavat eksponentiaalisesti vaihtelun kasvaessa. Taguchin mukaan nollavirhemalli aliarvioi hajonnan merkitystä laatukustannuksiin. (Roth & Albright, 1994.)

$$L(y) = k(y - T)^2 \quad (1)$$

missä:

L = kokonaiskustannukset

k = kerroin, joka on esimerkiksi sisäinen virhekustannus

y = mitattu arvo

T = tavoitearvo

Vuonna 1990 tehty tutkimustulos tukee Taguchin mallia: erään yrityksen laatukustannuksia verrattiin keskenään, kun laskennassa sovellettiin nollavirhemallia sekä Taguchin mallia. Ensimmäisessä vaiheessa tuotteiden hajonta pyrittiin pitämään sovitun vaihteluvälin sisällä (nollavirhemalli). Toisessa vaiheessa pyrittiin mahdollisimman tarkkaan tavoitearvoon pitämällä vaihtelu minimissään (Taguchin malli). Molemmissa tapauksessa tuotteet lähetettiin markkinoille ilman tarkastuksia, jonka jälkeen laskettiin laatukustannukset. Ensimmäisen vaiheen tuotteista 2/3 osaan jouduttiin tekemään korjauksia ja Taguchin mallilla lasketut kustannukset olivat noin 3 kertaa nollavirhemallia suuremmat. Taguchin väite siitä, että nollavirhemalli aliarvioi laatukustannuksia, näyttäisi tutkimuksen mukaan pitävän paikkaansa. (Taguchi & Clausing, 1990.)

Edellä esiteltyjen mallien lisäksi kirjallisuudesta löytyy myös muita laatukustannusmalleja, mutta niiden oikeellisuudesta ja käytettävyydestä käydään vielä keskustelua. Juranin ja Taguchin mallit, sekä nollavirhemalli ovat käytännön sovelluksissa eniten käyttökelpoisia, mutta Järvinen et al. (2001, s. 32) toteavat, että ehkä suurin hyöty malleista on kuitenkin vain laatukustannusten eri lajien keskinäisten riippuvuuksien ja lainalaisuuksien ymmärtäminen.

5.4 Laskennan haasteita

Monesti laatukustannuslaskennassa tehdään virhe kohdistamalla laskenta liian kapealle alueelle. Tarkastelun kohteena on usein tuotanto ja siellä helposti laatukustannuksiksi mielletävät asiat, kuten hävikki ja sekundan määrä. Suuri osa ongelmista on kuitenkin peräisin organisaation muilta osastoilta: esimerkiksi myyntiorganisaatio tai tuotekehitysosasto ei ymmärrä asiakkaiden tarpeita ja koko tuotantoprosessi on näin väärin suunniteltu; tiedonkulku on huonoa eri osastojen välillä tai esimerkiksi ihmisten välinen yhteistyö on huonoa. (Silen 1998, s. 70.)

Suuria haasteita laatukustannuslaskennalle aiheuttaa toimivan ja luotettavan laskentajärjestelmän puuttuminen. Yrityksen käytössä oleva kustannuslaskentajärjestelmä ei välttämättä tue laatukustannuslaskentaa, jolloin tiedon keruu, analysointi ja kustannusten laskenta voi olla hidasta ja erittäin paljon resursseja sitovaa. Tästä johtuen laskennasta saadut hyödyt saatetaan kokea siitä aiheutuvia kuluja pienemmiksi. (Dale 1994, p. 212.)

Työlään laskennan lisäksi Järvinen et al. (2001, s. 34) tuovat esille laskennan luotettavuuden. Laskennan tuottama tieto voidaan helposti kokea epäluotettavaksi, koska laskelmat perustuvat osin arvioihin esimerkiksi tuottamattomasta työajasta. Myös kustannusten kohdistaminen voi olla ongelmallista.

Toinen seikka, mikä vaikuttaa negatiivisesti laskennasta koettuun hyötyyn, on tulosten näkymättömyys laskentaraporteissa. Tietojärjestelmiin kirjatut laatukustannukset, kuten takuut, sekunda, reklamaatioiden määrä, eivät välttämättä sisällä niistä aiheutuvien välillisten haittojen kustannuksia. Esimerkiksi takuukäsittely ja virheelliset tuotteet aiheuttavat paljon arvoa tuottamatonta lisätyötä, mikä ei välttämättä näy missään laskelmissa. Laatukustannuslaskennalla voidaan osoittaa tärkeimmät kehityskohteet ja tehdä parantavat toimenpiteet, mutta parannusten tulokset eivät välttämättä näy laatukustannusraporteissa, koska toimenpiteillä on voitu vähentää äsken mainittuja välillisiä kustannuksia.

Laskennan motivaatiota voi laskea myös ns. laatukustannuslaskennan paradoksi. Sen mukaan laskennasta ja sen kehittämisestä huolimatta laatukustannukset jatkavat kasvuaan. Syynä tähän on se, että laskennan alettua yritys tunnistaa entistä enemmän epäkoh-tia ja näin laatukustannusten määrä kasvaa, vaikka yrityksen tulos samalla paranee. Vanha sanonta pitää siis paikkaansa: tieto lisää tuskaa. (Järvinen et al. 2001, 17, 34–37.) Toisaalta kirjoittajan oma mielipide on se, että tietoisuuden lisääntyminen on ainoastaan positiivinen asia: vaikka laatukustannusten suuruus kasvaisikin, yritys voi entistä tarkemmin tunnistaa ne ongelma-alueet, mitkä aiheuttavat eniten laatukustannuksia ja siten tehdä perusteltuja päätöksiä tarvittavista parannustoimenpiteistä.

Järvinen et al. (2001, s. 63) kokoavat hyvin yhteen laatukustannuslaskennan ongelma-alueet. Näitä ongelmia ja niiden taustoja on esitelty taulukossa 5.3.

Taulukko 5.3. *Laatukustannuslaskennan ongelma-alueet. (Mukailtu lähteestä Järvinen et al. 2001, s. 36.)*

LAATUKUSTANNUSLASKENNAN ONGELMA-ALUEET	
ONGELMA	SELITE
Tutkittavan alueen laajuus	Ei ole yksiselitteistä vastausta sille, mitkä yrityksen alueet (toiminnot, organisaation osat, työvaiheet, prosessit) pitäisi ottaa mukaan tutkimukseen.
Mittaamisen tavoitteet	Laskentaprojektin tulokset jäävät usein vaatimattomaksi, jos yritys ei ole ennalta suunnitellut laskentatiedon käyttötarkoitusta.
Määrittelyt	Ei ole yksiselitteistä vastausta sille, mitkä toiminnot ovat laatuun liittyviä.
Vastuu	Jos projektille ei ole määritelty selkeitä vastuuhenkilöitä, voi se johtaa koko projektin epäonnistumiseen.
Mittaamiskeinot	Käytössä olevat laskentajärjestelmät eivät tue riittävästi laatukustannuslaskentaa.
Johto	Ilman johdon tukea laatukustannushankkeet usein epäonnistuvat.
Henkilöstö	Työntekijät voivat pelätä, että laatukustannusprojekti johtaa työpaikkojen vähenemiseen. Jos he eivät tunnista laskennasta aiheutuvia hyötyjä, eivät he halua nähdä vaivaa sen eteen.
Tarkkuus	Yrityksen kyvykkyys laatukustannusten mittaamiseen on usein niin heikko, ettei tuloksiin voida luottaa.
Implementointi	Laatukustannusten laskennan aloittaminen on usein vaativaa ja luotettavien tulosten saaminen voi kestää vuosia.
Vertailu	Laatukustannuksia ei suoraan voida vertailla eri yritysten välillä.

Taulukkoon listattujen ongelma-alueiden lisäksi Järvinen et al. (2001, s. 36) varoittavat yrityksiä laatukustannuslaskennan neljästä merkittävästä sudenkuopasta. Ensinnäkin monesti yritys asettaa laskennalle liian kunnianhimoiset alkutavoitteet. Laatukustannusten laskenta on erittäin työlästä ja kokemuksen puute voi vaikeuttaa laskennan läpivientiä entisestään. Tästä johtuen Järvinen et al. kehottavat aloittamaan laatukustannusten selvitystyön sisäisistä ja ulkoisista virhekustannuksista, jotka kuitenkin muodostavat suuriman osan kokonaiskustannuksista. Aluksi ei kannata pyrkiä täydellisyyteen, vaan keskittyä yrityksen kannalta oleellisiin alueisiin.

Toisena haasteena Järvinen et al. mainitsevat laskentatiedon hyväksikäytön. Monesti laskennasta voi muodostua itsetarkoitus, jolloin sen todelliset päämäärät (parannuskoh- teiden tunnistaminen ja korjaavien toimenpiteiden käynnistys) voivat unohtua. Lasken- tatieto ei hyödytä ketään, ellei sitä osata tai haluta hyödyntää järkevästi. Tässä kohdassa Järvinen et al. painottavat koko organisaation osallistumista laadun parantamiseen. *Laa- tuorganisaatio ei yksin vastaa laatukustannusten laskennasta ja laadun parantamisesta, vaan pikemminkin sen tehtävänä on toimia yrityksen sisäisenä konsulttina laatuasioissa.*

Kolmantena haasteena mainitaan korjaavien toimenpiteiden aloittaminen vajavaisilla tiedoilla. Nykytilanteen kartoitus on tehtävä huolellisesti, jotta tiedetään tarkasti, miksi nykyiseen tilanteeseen on ajaututtu. Kustannusten laskenta on oltava riittävän laaja- alaista, jotta pystytään tunnistamaan kaikki ne tekijät, mitkä todellisuudessa aiheuttavat ongelmia.

Neljäs laatukustannuslaskennan sudenkuoppa on liian lyhytjänteinen asenne laskentaa kohtaan. Laskennan ja prosessien parantamisen synnyttämät tulokset näkyvät viiveellä, ja kun tuloksia ei synny heti, voi into koko hommaa kohtaan vähentyä. Laadun paran- taminen on kuitenkin pitkäjänteistä ja jatkuvaa työtä, eikä äkillistä muutosta ole usein luvassa.

Edellä esiteltyjen ongelmien ja sudenkuoppien lisäksi laatukustannusten selvittämiseen liittyvät samat ongelmat, kuin mihin tahansa laskentatoimeen. Näitä ongelmia ovat: laa- juusongelma, arvostusongelma, jakamisongelma sekä mittaamisongelma. Yleisiin las- kentatoimen haasteisiin voi tutustua tarkemmin lähteessä (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, ss. 41–43.)

5.5 Laskenta käytännössä

Laatukustannuslaskennan tarkoitus on löytää ja asettaa parannuskohteet tärkeysjärjes- tykseen. Pelkkä laskentatieto ei itsessään hyödytä ketään, vaan tietoa täytyy käyttää järkevästi hyödyksi. Laskennan tulisikin olla osa jatkuvaa laadunparannusta. Tämä ei kuitenkaan välttämättä tarkoita sitä, että laskennan tulisi olla jatkuvaa. Järvisen et al. (2001) mukaan riittää hyvin, kun yritys suorittaa laskennan kerran tai kaksi vuodessa tärkeimmälle osa-alueelle. He muistuttavat myös laskennan haasteellisuudesta ja suosit- televat aluksi vain pienimuotoista pilottiprojektia, jonka kohteena on esimerkiksi liike- toimintaprosessi tai sen osa. Liian haasteellinen projekti voi helposti kaatua laskennan vaikeuteen.

5.5.1 Laskentaprojektin suunnittelu ja tavoitteet

Laatukustannuslaskenta on usein projektimuotoinen tutkimus, mihin pätee normaalit projektitoimintaan liittyvät pelisäännöt. Ennen projektin aloittamista on määritettävä laskennan tarkoitus ja tavoitteet, sekä tehtävä tarkka projektisuunnitelma, mistä selviää

projektin aikataulu, käytetyt resurssit sekä laskennan kohde. Projektista on ilmoitettava etukäteen asianomaisille ja muistutettava laskennan tarkoituksesta; *tarkoitus ei ole etsiä syyllisiä laatuongelmiin, vaan selvittää ongelmien taustalla olevat syyt*. Monesti ongelmat eivät johdu työntekijöistä, vaan huonosti suunnitelluista systeemeistä ja toimintatavoista.

Ennen laskentaprojektin käynnistämistä, on hyvä muistuttaa miksi laatukustannuksia ylipäätensä selvitetään. Laskennan hyötyjä käsiteltiin tarkemmin luvussa 5.1, missä tärkeimmiksi pointeiksi nousi:

- Laskennan tuottama rahamääräinen tieto auttaa yrityksen johtoa päätöksenteossa sekä eri osastojen välisessä vertailussa.
- Ylemmälle johdolle raha on selkeä laadun mittari ja siksi laatukustannuslaskenta on välttämätöntä.
- Laskenta auttaa kehityskohteiden tunnistamisessa sekä priorisoinnissa.
- Laskennan tuottama kustannustieto motivoi jatkuvaan laadun parantamiseen kaikkialla organisaatiossa.

Kustannuslaskentaprojektille on asetettava selkeä tavoite, missä määritellään laskennan kohde ja laajuus sekä käytettävä laatukustannusmalli. Kohteen valinnan tulee liittyä läheisesti yrityksen strategiaan. Kaikkea ei voida kerralla korjata, joten valinnassa täytyy painottaa tärkeimpiä kehitysalueita. Laskenta onkin hyvä käynnistää pilottiprojektilla, joka kohdistuu yhteen liiketoimintaprosessiin tai sen osaan.

Käytetty laatukustannusmalli määrää sen, kuinka laaja selvityksestä muodostuu. Jos laskentaan otetaan mukaan kaikki PAFF-mallin osiot, voi kustannusten kokonaismäärä nousta hyvinkin suureksi. Näin kattava selvitys ei Järvisen et al. (2001) mukaan kuitenkaan ole – ainakaan aluksi – mielekäästä, vaan riittää hyvin, kun laskentaan otetaan mukaan kaikkein tärkeimmät eli virhekustannukset. Yleinen arviohan on, että ne muodostavat 80 % kaikista laatukustannuksista (Silen 1998, s. 65.)

5.5.2 Tietolähteet ja laatutiedon keruu

Laatuongelmien selvitystyö voidaan aloittaa, kun laskentaprojektin suunnitelma on valmis ja laskennan tavoitteet ovat selvillä. Selvitys alkaa tiedon keruusta, jota voidaan tehdä monella eri tekniikalla. Samoin kuin muut laskentaprojektin vaiheet, myös tiedon keruu on hyvä suunnitella huolellisesti ennen projektin aloittamista. Ensinnäkin on päätettävä tiedonkeruun laajuus. Mitä osastoja ja alueita laskentaan halutaan sisällyttää? Lisäksi keräykselle täytyy suunnitella selkeät vaiheet, miten ja mistä tietoa kerätään, ketä henkilöitä tai tiimejä kannattaa haastatella ja mistä tietolähteistä keruu on syytä aloittaa.

Kirjallisuudessa on esitelty useita eri tietolähteitä laatukustannusten selvittämiseksi. Seuraavaksi käsitellään niistä tärkeimmät: tietojärjestelmät, seurannat, arviot, kirjalliset kyselyt sekä haastattelut.

Tietojärjestelmät

Yrityksen tietojärjestelmät ovat hyvä paikka aloittaa laatukustannusten selvitystyö. Atkinson et al. (1994, p. 226) pitävät tärkeänä, että projektiryhmään kuuluisi ainakin yksi henkilö tietojärjestelmiä hallinnoivasta organisaatiosta. Hänen tehtävänä on helpottaa tiedon etsimistä ja perehdyttää muita kustannuslaskentaan liittyvissä asioissa. Tietojärjestelmien kautta tietoa voidaan kerätä kaikkialta yrityksen osastoilta ja usein laskennan kannalta hyödyllistä tietoa on helposti saatavilla. Kattavan kuvan muodostamiseksi tietojärjestelmät eivät kuitenkaan yksinään riitä, vaikka ne muodostavat hyvän pohjan laskennalle. Atkinson et al. mukaan laskentajärjestelmistä kerätyt tiedot muodostavat noin neljäsosan kaikista laatukustannuksista ja siksi laadun kokonaiskustannuksia voidaankin arvioida jo tämän tiedon perusteella.

Tietojärjestelmät voidaan jakaa virallisiin ja epävirallisiin lähteisiin. Tiedon keräys virallisista tietojärjestelmistä on usein suoraviivaista. Keräys ei ole jatkuvaa, vaan kaikki saatavilla oleva tieto voidaan kerätä kertaluontoisena projektina. Tyypillisiä tietojärjestelmiä ovat: varastokirjanpito, perinteinen kirjanpito sekä palkka- ja toiminnanohjausjärjestelmät. Näistä järjestelmistä saadaan tyypillisesti seuraavanlaisia tietoja:

- takuukustannukset ja korjaukset
- asiakaspalaute ja palautukset
- palkka- ja matkakulut
- yk-lisät ja tuotekohtaiset kustannukset
- romutus ja uusintatyö
- hävikki
- resurssien käyttötiedot
- ylityöt
- tilausten, laskujen ja sopimusten määrä
- erääntyneet velat

Tietoa on siis saatavilla runsaasti ja hyvin laajalta alueelta, mutta ongelmaksi muodostuu sen käyttökelpoisuus laatukustannusten laskennan kannalta. Perinteinen kirjanpito laskee kustannuksia kustannuspaikoittain, mutta laatukustannuslaskennassa pyrkimyksenä on selvittää valitun kohteen kerrannaisvaikutuksia myös sen rinnakkaisilla osastoilla. Tätä tietoa ei tietojärjestelmistä kuitenkaan usein löydy, ellei yritys laske kustannuksia toimintoperusteisesti. Jos tietojärjestelmistä saatavat tiedot eivät sellaisenaan kelpaa laskennan käytettäväksi, astuvat kuvaan seurannat ja arviot. (Järvinen et al. 2001, ss. 46–47.)

Virallisten tietojärjestelmien lisäksi yrityksissä on monesti käytössä ns. epävirallisia järjestelmiä, jotka käytännössä tarkoittavat esimerkiksi työnjohdon tai muide toimihenkilöiden henkilökohtaisia kirjanpitoja. Tiedon tarkkuus vaihtelee näissä lähteissä suuresti, mutta Järvisen et al. (2001, ss. 47–48) mukaan niistä saatava tieto on erittäin tärkeää. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, miten päästä käsiksi näihin henkilökohtaisiin lähteisiin. Yksi tapa on selvittää järjestelmien olemassaolo haastatteluin.

Seurannat

Eräs tehokas tietojen keräystapa on seurannat, joita voidaan käyttää laatuongelmien ja niihin kuluvaan hukka-ajan selvittämiseen. Seurannoissa on kuitenkin omat haasteensa, mistä tärkeimmiksi nousevat henkilöstön motivaatio ja tiedon luotettavuus. Seurannat vaativat jatkuvaa valvontaa, koska niistä aiheutuva työ koetaan helposti ylimääräiseksi ja ylipäänsä seurannat voivat tuntua epäluottamuksen osoitukselta tutkittavat kohteen työntekijöitä kohtaan. Tiedon luotettavuuteen vaikuttaa se, että seuranta ei ole jatkuvaa ja koskee vain tiettyä tuotetta tai prosessia rajatun aikavälin osalta. Tietoa voi olla vaikea perustellusti yleistää esimerkiksi vuositasolle, koska seuranta-ajan erityisolosuhteet – esimerkiksi tuotteen variaatiot – eivät välttämättä koske kaikkia tuotteita. (Järvinen et al. 2001, s. 48.)

Arviot

Tarkentavaa tietoa laatuksustannusten suuruudesta ja määrästä saadaan työntekijöiden työnkuvia analysoimalla. Arvioinneissa pyritään selvittämään kuinka suuri osa työajasta kuluu laatu puutteiden korjaamiseen ja kuinka paljon laatu puutteita esiintyy. Atkinsonin (1994, pp. 226–227) mukaan kustannukset on yleensä helposti löydettävissä, mutta ongelmaksi muodostuu niiden jaottelu eri kustannuskategorioihin. Selkeää jaottelua on vaikea tehdä, koska sama kustannus voi määritelmän mukaan kuulua useampaan kategoriaan.

Arvioilla kerätty tieto on luotettavaa, jos arvioija tuntee tarkastelun kohteena olevan prosessin tai tuotteen hyvin. Arvioilla voidaan selvittää ongelmien esiintymistiheyttä sekä niiden korjaamiseen kuluva aikaa. Nimensä mukaisesti arvio ei ole tarkkaa tietoa, mutta usein suuruusluokka riittää varsin hyvin. (Järvinen et al., 2001, s. 48.)

Kirjalliset kyselyt

Kyselyissä tietoa kerätään standardoidusti esimerkiksi kirjallisten lomakkeiden avulla. Kysymykset voivat olla monivalintoja, avoimia kysymyksiä tai asteikkoihin perustuvia kysymyksiä. Avoimissa kysymyksissä vastaajalle jätetään kysymyksen jälkeen tyhjää tilaa vastausta varten, kun taas monivalinnassa vastaaja valitsee valmiista vastausvaihtoehdoista sopivimman. Asteikkoihin perustuvissa kyselyissä esitetään väittämiä, joista

vastaaja valitsee tietyn vaihtoehdon sen perusteella, miten voimakkaasti hän on samaa mieltä tai eri mieltä kuin esitetty väittämä.

Kyselyiden avulla voidaan kerätä laaja tutkimusaineisto kohtuullisella vaivannäöllä. Kirjallinen kysely on helppo lähettää hyvin suurelle joukolle ihmisiä ja niissä voidaan kysyä paljon kysymyksiä. Kyselytutkimuksen aikataulu ja kustannukset on kohtuullisen helppo arvioida etukäteen ja tulosten käsittelyssä voidaan käyttää apuna tietokonetta.

Kyselyiden ongelmaksi muodostuu kuitenkin tulosten tulkinta: saatua aineistoa ei pidetä kovin syvällisenä ja tutkimuksen teoreettista puolta pidetään siten vaatimattomana. Kyselyn haittoina pidetään myös sitä, miten voidaan varmistua vastausten luotettavuudesta. Kuinka voidaan varmistua siitä, että vastaajat ovat vastanneet kysymyksiin vakavasti ja kuinka hyvin he ovat ylipäänsä selvillä kysyttävästä asiasta. Kyselyissä ei myöskään ole selvää, miten onnistuneita annetut vastausvaihtoehdot ovat eli miten vältetään väärinkäsityksiä. (Hirsjärvi et al. 2007, ss. 188–199.)

Kirjalliset kyselyt eivät yksinään riitä kattavaan tiedonkeräykseen. Niiden avulla voidaan kuitenkin tehdä hyvä pohjaselvitys, jota voidaan myöhemmin tukea haastattelemalla kyselyyn osallistuneita henkilöitä.

Haastattelut

Haastattelu on yksi kvalitatiivisen tutkimuksen eniten käytetyistä tiedonkeruumuodoista (Hirsjärvi 2008, s. 34). Haastattelun tarkoitus on hyvin yksinkertainen; kun halutaan tietää mitä joku ajattelee, paras tapa on kysyä se häneltä itseltään. Haastattelu on siis kahden tai useamman ihmisen välinen vuorovaikutustilanne, jossa haastattelija pyrkii muodostamaan mahdollisimman selkeän kuvan haastateltavan ihmisen tai ihmisten ajatusmaailmasta. Mitä toinen henkilö miettii? Mitkä ovat hänen motiivit, tuntemukset, kokemukset ja käsitykset tietystä aiheesta?

Tutkimushaastattelut voidaan jakaa useaan eri tyyppiin. Samoin haastattelunimikkeitä on useita ja monesti samoista haastattelutyypeistä käytetään eri nimiä. Yleisimmin jako kuitenkin perustuu siihen, miten kiinteä haastattelun runko on ja miten paljon haastattelija jäsentää tilannetta. Tämän perusteella haastattelut voidaan jakaa neljään eri tyyppiin:

- *Strukturoidussa haastattelussa* on selkeä, ennalta määritelty kyselylomake sekä valmiit vastausvaihtoehdot. Haastateltava valitsee vastausvaihtoehdoista sen, joka parhaiten kuvaa hänen ajatuksiaan. Kysymysten muoto ja järjestys ovat kaikille samat, jolloin niiden merkityksen oletetaan olevan sama kaikille. Strukturoitu haastattelu on käytännössä ohjattua kyselylomakkeen täyttöä.

- *Puolistrukturoitu haastattelu* eroaa edellisestä siten, että haastattelijalle ei anneta valmiita vastausvaihtoehtoja, vaan hän vastaa kysymykseen omin sanoin.
- *Teemahaastattelu* on lähempänä strukturoimatonta haastattelua kuin strukturoitua haastattelua. Siinä haastattelun *aihepiirit* ovat ennalta määrättyjä ja kaikille samat. Tarkkoja kysymyksiä ei ole, vaan haastattelu etenee vapaana keskusteluna valittujen aihepiirien sisällä.
- *Avoim haastattelu* muistuttaa eniten normaalia keskustelua sovitusta aihepiiristä. Kaikkien haastateltavien kesken ei välttämättä käsitellä samoja asioita, eikä kysymyksiä ole mietitty etukäteen. (Eskola et al. 1998.)

Eri tyyppisiä ei voida asettaa paremmuusjärjestykseen, vaan kaikki vaihtoehdot tuottavat laadultaan samanarvoista tietoa. Alasuutarin (1999, s. 153) mukaan aineiston laatu riippuu niistä kysymyksistä, joiden avulla tutkittavasta ilmiöstä yritetään saada vastauksia.

Kirjalliseen kyselyyn verrattuna haastattelun etuna on joustavuus. Haastattelussa vastauksia voidaan tulkita paremmin esittämällä tarkentavia kysymyksiä, oikaisemalla väärinkäsityksiä tai toistamalla kysymys. Haastatteluilla voidaan saada myös tarkempaa tietoa kuin kyselyillä. Haastattelija voi esimerkiksi johdatella haastateltavaa tiettyyn suuntaan, jolloin haastateltava ymmärtää paremmin mistä puhutaan ja pystyy näin paremmin vastaamaan kysymykseen. Etuna voidaan mainita myös se, että haastateltava ei voi tutustua kysymyksiin etukäteen, jolloin myöhemmät kysymykset eivät vaikuta aiempien kysymysten vastauksiin. Haastatteluilla kerättyä tietoa voidaan myös myöhemmin tarkentaa ottamalla yhteyttä haastateltaviin.

Eräs tärkeä asia on haastattelutiedon luotettavuuden arviointi. Tiedon luotettavuudella tarkoitetaan sitä, että toistamalla saman kysymykset kenen tahansa toimesta, saadaan aina samanlainen vastaus. Luotettavuutta voidaan lisätä standardoimalla haastattelukysymykset ja haastattelutilanne. Kyseessä on tällöin strukturoitu tai puolistrukturoitu haastattelu, joka kuitenkin vähentää haastattelun joustavuutta. Haastattelun etuna on myös se, että haastattelija voi arvioida, vastasiko haastateltava rehellisesti kysymyksiin, mikä oli hänen mielialansa ja motiivinsa ja kuinka hän ylipääntensä suhtautui tutkimukseen. (Hirsjärvi et al. 2007, ss. 199–206.)

Haastattelussa on myös monia haittapuolia. Ensinnäkin haastattelu vie paljon aikaa. Vaikka itse haastattelutilanne kestäisikin vain 1–2 tuntia, on haastattelun läpikäyminen ja mahdollinen litterointi reilusti työläämpää. Haastattelu täytyy myös suunnitella rakenteen ja aikataulujen kannalta sopivaksi. Aikataulun sopiminen useamman haastateltavan kanssa voi myös olla haastavaa. Haastattelun etuna on se, että haastattelija voi johdatella haastateltavaa tiettyyn suuntaan tarkempien vastausten toivossa. Tämä voi kuitenkin muodostua myös ongelmaksi, jos haastateltava haluaa esiintyä edukseen ja vastaa niin kuin hänen oletetaan vastaavan. Tällöin haastattelutiedon luotettavuus voi kärsiä. Luo-

tettavuus voi kärsiä myös silloin, kun ongelmallisista asioista halutaan vaieta ja vastauksesta muodostuu näin todellisuutta positiivisempi kuva. Haastattelijan ammattitaidolla on tässä yhteydessä suuri merkitys. Vastauksia tulisi tulkita mahdollisimman objektiivisesti, ilman että omat odotukset ja arvot vaikuttavat vastauksen tulkintaan. (Hirjärvi et al. 2007. 199–206.)

5.5.3 Tiedon analysointi

Edellisessä luvussa esiteltiin yleisimmin laatukustannuslaskennassa käytetyt tietolähteet ja tiedonkeruumenetelmät. Pelkkä käsittelemätön tieto eli ”raakadata” on kuitenkin usein hyödytöntä ilman, että ongelmien taustalla olevat syyt selvitetään. Kysymys kuuluu siis: mitkä ovat niitä tekijöitä, joista nykyiset laatuongelmat todella johtuvat? Laatuongelmat voidaan poistaa eliminoimalla niiden aiheuttajat ja viisas sanonta kuuluu:

”Älä keskity ongelmiin, vaan niiden aiheuttajiin”.

Tehokas tapa ongelmien juurisyiden selvittämiseen on Toyotan kehittämä menetelmä, jossa ongelman esiinnyttyä kysytään viisi kertaa ”miksi” -kysymys. Menetelmän mukaan vastaamalla viisi kertaa peräkkäin kysymykseen ”miksi”, olet selvittänyt ongelman perimmäisen syyn. ”Miksi” ei ole ehdoton sana, vaan kysymys voi olla esimerkiksi ”mistä tämä johtuu?” ”Miksi näin on?” ”Miten tähän päädyttiin?” Myöskään viisi kysymystä ei ole ehdoton mitta, vaan kysymyksiä toistetaan niin kauan, kunnes ongelman perimmäinen syy on selvillä. Menetelmä vaatii vähintään kaksi roolia: kysyjän ja vastaajan.

Menetelmä kuulostaa hyvin yksinkertaiselta, mutta todellisuudessa vastauksia on vaikea löytää ja niiden löytäminen vaatii paljon selvitystyötä. Kysyjän on toistettava kysymystä tarpeeksi monesti, vaikka jatkuva ”miksi” -kysely voi tuntua lapselliselta. Vastaajaa täytyy kuitenkin rohkaista johdattelevilla lisäkysymyksillä. Menetelmä voi tuntua vaikealta ja se vaatii pitkäjänteisyyttä, mutta kuten Ohno (1998) toteaa, koko Toyotan tuotantosysteemi perustuu tämän menetelmän käyttöön. Näyttöä sen toimivuudesta siis löytyy. (Ohno 1988, pp. 17–18.)

5.5.4 Laatukustannusten laskenta ja laskentatiedon hyväksikäyttö

Laatuongelmien kustannusvaikutukset voidaan laskea, kun ongelmien taustalla olevat juurisyyn on selvitetty. Jos aiemmin käsitellyt laskentaprojektin vaiheet on toteutettu huolellisesti, itse kustannusten laskeminen ei ole hankalaa. Laskennan lähtökohtana ovat lisäarvoa tuottamattoman resurssin – kuten työn ja materiaalin – kustannukset. Kun ongelmien esiintymistiheys on selvitetty ja resurssin kustannus on tiedossa, voidaan juurisyiden kustannukset laskea kertomalla resurssin yksikkökustannus sen esiintymistiheydellä. Jos esimerkiksi tietty ongelma aiheuttaa 5 tuntia ylimääräistä, lisäarvoa tuot-

tamatonta työtä viikossa ja yhden työtunnin standardihinta on 30 €, saadaan ongelman kustannukseksi 150 € viikossa.

Kuten aiemmin on todettu, laatukustannusten laskeminen pelkän laskemisen ilon vuoksi on hyödytöntä. Tietoa on osattava myös hyödyntää järkevästi. Tärkeintä on löytää ja priorisoida kehityskohteet. Parannuskohteen valintaan vaikuttavia seikkoja ovat:

1. **Taloudelliset ja strategiset tekijät.** Valinnassa tulee priorisoida ne kohteet, joiden korjaus tuo parhaan mahdollisen taloudellisen hyödyn. Valinnassa on kuitenkin myös otettava huomioon sen strateginen puoli eli kuinka hyvin ongelman korjaaminen vastaa yrityksen pitkän tähtäimen päämääriä.
2. **Parannuskohteen laajuus, helppous ja luonne.** Osa ongelmista voidaan korjata muuttamalla toimintatapoja tai kannustamalla työntekijöitä laadun parantamiseen. Osa kohteista taas vaatii investointeja ja toisia ongelmia ei yksinkertaisesti voida poistaa. Laajoissa projekteissa on vaarana niiden pitkä kesto, joka voi heikentää motivaatiota, kun tulokset näkyvät vasta pitkän ajan kuluttua. Investointeja tehtäessä on myös mietittävä onko yrityksellä ylipäättänsä kokemusta, taitoa ja teknistä osaamista toteuttaa projekti.
3. **Parannusinvestointien kannattavuus.** Laadun parantamisen kustannuksia on verrattava siitä saatuihin hyötyihin ja kohteeksi on valittava kokonaisuuden kannalta kaikkein kannattavin kohde.
4. **Muut kehitysprojektit.** Samoja ongelmia voidaan jo sivuta toisen projektin alla, joten ennen parannustoimenpiteitä tulee selvittää, mitä laadunparannusprojekteja yrityksessä on jo meneillään. (Järvinen et al. 2001, ss. 56–57.)

Järvinen et al. (2001) muistuttavat vielä parannuskohteiden valinnan vaaroista, varsinkin tilanteissa, jossa yrityksellä ei ole aiempaa kokemusta laadunparannusprojekteista. Ensimmäisellä selvityskerralla ongelmia ilmenee luultavasti runsaasti, eikä kaikkea voida korjata kerralla. Tärkeämpää on kuitenkin aluksi valita sellaiset parannuskohteet, jotka hyvin todennäköisesti voidaan saattaa loppuun asti. Alussa ei kannata olla liian kunnianhimoinen, vaan valinnassa tulisi määrän sijasta keskittyä laatuun.

5.6 Yhteenveto

Laatukustannusten selvittäminen liittyy läheisesti jatkuvan laadun parantamisen filosofiaan: se nähdään PDCA-ympyrän suunnitteluvaiheen työkaluna, jonka tarkoitus on osoittaa taloudellisesti kaikkein kannattavimmat kehityskohteet (kuva 5.1). Seuraava lause kuvastaa hyvin laatukustannusten sisältöä.

”Laatukustannuksilla tarkoitetaan kaikkia niitä kustannuksia, jotka häviäisivät, jos kaikki tehtäisiin ensimmäisellä kerralla oikein” (Järvinen et al. 2011, s.1.)

Laatukustannuslaskennan hyötyä perustellaan yleensä sillä, että raha on ainut mittari, minkä perusteella yrityksen johto voi tehdä luotettavia päätöksiä parannuskohteiden valinnassa. Raha on yritysjohdolle selkeä laadun mittari sekä toimii yhteisenä kielenä päätöksentekijöiden ja eri osastojen välillä.

Arviot laatukustannusten suuruudesta vaihtelevat eri kirjoittajien välillä, mutta yleisesti voidaan todeta niiden olevan jopa 20–50 % yrityksen liikevaihdosta (kts taulukko 5.1). Kyseinen arvio kuvastaa hyvin laskennasta saatavia hyötyjä: korjaamalla laskennan osoittamat laatupuutteet, yritys voi tehdä huomattavia kustannussäästöjä.

Tunnetuin laatukustannusten jaotteluperuste on ns. PAFF -malli, missä kustannukset jaotellaan kolmeen eri luokkaan: ennaltaehkäisy-, valvonnan- sekä virheiden aiheuttamiin kustannuksiin. Virhekustannukset voidaan jakaa edelleen sisäisiin ja ulkoisiin kustannuksiin ja arvioiden mukaan ne yhdessä muodostavat jopa 80 % kaikista laatukustannuksista (Silen 1998, s.65.)

Laatukustannusten teoreettista käyttäytymistä voidaan mallintaa erilaisten laatukustannusmallien avulla. Tässä luvussa niistä esiteltiin kolme tunnetuinta: Juranin ja Taguchin mallit sekä nollavirhemalli. Mallien käytännön soveltuvuudesta on näyttöä heikosti, mutta niiden tärkein tarkoitus onkin auttaa ymmärtämään miten eri kustannuskategoriat käyttäytyvät toisiinsa nähden.

Laatukustannusten laskenta on vaativaa ja paljon resursseja sitovaa työtä. Siksi laskenta on hyvä aloittaa kohtuullisen kapealla sektorilla, käynnistämällä esimerkiksi yksittäinen pilottiprojekti. Tämä tutkimus on juuri äskeisen suosituksen kaltainen, kertaluontoinen esiselvitystyö, joka suurempien toimenpiteiden käynnistämiseksi vaatii varmasti laajempaa jatkotutkimusta.

Laatukustannusten laskenta on usein projektimuotoinen tutkimus, mihin pätee normaalit projektitoiminnan vaiheet. Ensinnäkin laskennalla on oltava selkeä tavoite, mihin sen tulisi vastata. Toisekseen projektille on muodostettava selkeä suunnitelma aikatauluineen ja resursseineen, sekä nimettävä projektin vastuuhenkilöt. Varsinainen projekti käynnistyy laatutiedon keruulla, missä tärkeimpinä kanavina toimivat yrityksen tietojärjestelmät, tuotannon seurannat, arviot, kirjalliset kyselyt sekä haastattelut.

Laatupalautteiden keräyksen jälkeen tietoa on analysoitava ongelmien taustalla olevien juurisyiden selvittämiseksi. Tähän vaiheeseen hyvä työkalu on esimerkiksi Toyotan kehittämä menetelmä, jossa ongelman taustasyyt voidaan selvittää kysymällä viisi kertaa peräkkäin kysymys ”miksi”. Itse laatukustannusten laskenta on tämän jälkeen helppoa, jos projektin aiemman vaiheet on toteutettu huolellisesti. Laatukustannusten laskennassa täytyy muistaa myös sen lopullinen tavoite: *laskentatiedon tarkoitus on osoittaa kaikkein kannattavimmat kehityskohteet valitulta tarkastelualueelta.*

Kaikki työssä tähän mennessä käsitellyt osiot toimivat teoriapohjana työn varsinaiselle empiiriselle osuudelle. Luvussa 2 lukijalle esiteltiin tuotteisiin ja niiden tekniikkaan liittyvät perustiedot. CANopen:ia käsittelevällä luvulla on tärkeä rooli työn johtopäätöksiä ajatellen, sillä kuten myöhemmin huomataan, monet tuotannon ongelmat johtuvat siitä, että sen hallintaprosessia ei ole noudatettu riittävän tarkasti.

Luvussa 3 huomattiin, että toimintolaskenta on tehokas työkalu prosessien parantamiseen ja tuotekohtaiseen kustannuslaskentaan. Kuten myöhemmin huomataan, johdannossa esitetyt tuotanto-ongelmat johtuvat osaltaan laaduttomista prosesseista ja siitä, että tiettyjen rakenteiden kustannuksia ei ole laskettu riittävästi aiheuttamisperiaatetta noudattaen. Vaikka toimintolaskennalla voidaan kehittää molempia näistä ongelmista, ei se tämän työn laajuudesta johtuen ole täysin mahdollista. Niinpä toimintolaskentaa sovelletaan hyvin karkealla tasolla, mutta lukijan on kuitenkin hyvä ymmärtää, mitä mahdollisuuksia se tarjoaa.

Tarkasteltavien laitteiden tuotannon läpimenoaikojen ylitykset kertovat tuotannon laaduttomuudesta. Laatu on kuitenkin käsitteenä erittäin laaja ja siksi sen sisältöä tarkasteltiin tarkemmin luvussa 4. Luvun tarkoitus oli antaa lukijalle riittävä kuva siitä, miten nykyinen laatuajattelu on kehittynyt, mitä laadun käsite pitää sisällään ja miten laatua voidaan kehittää. Tuotanto-ongelmien ratkaiseminen edellyttää niin syiden poistamista, josta ongelmat ovat peräisin. Tähän tarkoitukseen valittiin eräs hyödyllinen laadun kehittämisen työkalu – laatukustannuslaskenta. Sen tarkoituksena on löytää tuotannon ongelma-alueet ja rahamääräisen tiedon avulla osoittaa kaikkein kannattavimmat kehityskohteet.

6 TARKASTELTAVIEN LAITTEIDEN LAATU-KUSTANNUKSET

Kuten johdannossa todettiin, tarkasteltavien laitteiden tuotanto kamppailee erinäisten laatupuutteiden kanssa. Puutteet näkyvät jatkuvina läpimenoaikojen ylityksinä sekä pahimmillaan lopputuotteiden laaduttomuutena sekä siten myös asiakastyytymättömyytinä. Tilastot kertovat karua todellisuutta: loppukokoonpanon läpimenoajat viimeisten 18 laitteen (A) kohdalla ovat vaihdelleet 1500–3000 tunnin välillä, standardiajan ollessa 1150 tuntia. Säädön/kalibroinnin läpimenoajat – yhtä poikkeusta lukuun ottamatta (21.5h) – vaihtelivat välillä 50–430 tuntia, verrattuna standardiaikaan 40 tuntia. Koekäytössä läpimenoaikaan kului 60–640 tuntia, kun laskettu standardiaika on 24 tuntia. Ylitykset ovat siis loppukokoonpanossa pahimmillaan lähes kolminkertaiset, testauksessa yli kymmenkertaiset sekä koekäytössä jopa yli 26-kertaiset! Eri vaiheiden keskiarvot olivat seuraavat: loppukokoonpano 1965 tuntia, säätö/kalibrointi 161 tuntia, koekäyttö 153 tuntia. Vaihtelua voidaan selittää asiakaskohtaisten optioiden synnyttämällä laitevariaatioilla, mutta näin suuret ylitykset suunnitelluista läpimenoajoista viestivät kuitenkin selkeistä laatupuutteista.

Koko laitteiden historian aikana standardiaika on alitettu vain kerran laitteiden A tuotannon säädössä/kalibroinnissa. Toteutuneita läpimenoaikoja tarkasteltaessa herää kysymys siitä, ovatko lasketut standardiajat realistisia? Kysymykseen saatiin vastaus haastatteleamalla tuotannon insinööriä, joka on vastuussa standardiaikojen laskemisesta. Hänen mukaan nykyiset läpimenoajat ovat täysin saavutettavissa, jos tuotannon laatuongelmat saadaan poistettua. Todellisuudessa standardiajat on laskettu jopa liian pitkiksi, sillä jos tuotanto sujuisi suunnitellulla tavalla, realistinen läpimenoaika esimerkiksi laitteiden A loppukokoonpanossa olisi noin 800 tuntia (nykyinen standardiaika 1150h). Tätä aikaa voidaan edelleen parantaa, kun tuotantoprosessia päästään tehokkaasti parantamaan nykyisten ongelmien poistuttua. Loppuun hiottu prosessi yhdistettynä opittuihin työkäytäntöihin voisi laskea standardiaikaa jopa noin 500 tuntiin. Nykyiset standardiajat eivät siis ole ainoastaan realistisia, vaan jopa ylimitoitettuja. Haastattelujen lisäksi todistuksena toimii aiemmin mainittu yksi säädön/kalibroinnin läpimenoajan alitus: jos standardiaika on voitu alittaa kerran, voidaan se toistaa myös tulevaisuudessa.

Kehitystoimenpiteiden valinta ei ole järkevää ilman faktoihin perustuvaa tietämystä. Tämä luku tarjoaa selkeät vastaukset siitä, *mistä tuotannon ongelmat ovat peräisin* – aiheen rajausta huomioon ottaen – ja *kuinka suurina ovat ongelmien aiheuttamat taloudel-*

liset menetykset. Rahamääräinen tieto osoittaa suoraan ne ongelma-alueet, joita kehittämällä aikaansaadaan parhaat mahdolliset taloudelliset hyödyt.

Luku on jaettu viiteen osaan: luvussa 6.1. käsitellään laatutiedon keräykseen liittyvät asiat; mistä ja miten tutkimustieto on kerätty. Luvussa 6.2 laatupalautteet jaotellaan tutkimuksen kannalta sopiviin kategorioihin ja kerrotaan, kuinka ongelmien taustalla olevat juurisyyn on selvitetty. Kiireinen lukija voi halutessaan hypätä suoraan lukuun 6.3, missä ongelmat on muutettu rahamääräiseksi tiedoksi. Väylätekniikan tuomia ongelmia käsitellään luvussa 6.4. Luku 6.5 kokoaa asiat tiiviiksi yhteenvedoksi.

6.1 Laatutiedon keruu

Laatutiedon keruun tarkoituksena oli kerätä kaikki saatavilla oleva tieto tuotannon ongelmista. Keräys kohdennettiin pelkästään yrityksen sisäisiin, tuotannon laatuongelmiin ja ainoastaan automaatioon ja sähköön liittyviin virhetilanteisiin. Näiden rajausten pohjalta päädyttiin seuraaviin tiedonkeräystapoihin: yrityksen tietojärjestelmät, työn seurannat, kirjalliset laaturaportit sekä haastattelut. Kaikki laatupalaute on peräisin työn rajauksen mukaisesti joko tuotannon loppukokoonpanosta tai säädöstä/kalibroinnista. Koekäytöstä laatupalautetta oli saatavilla hyvin vähän ja lisäksi suurin osa siellä havaituista laaturaportteista liittyy laitteiden ohjelmistoon ja siksi ne rajattiinkin tutkimuksen ulkopuolelle. Seuraavaksi käsitellään tarkemmin käytetyt tiedonkeräystavat ja -kanavat.

Kaiken kaikkiaan laatupalautteita kerättiin 161 kappaletta, joista tietojärjestelmien osuus oli noin 70 kpl, kirjallisten raporttien 9 kpl sekä työn seurantojen 82 kappaletta. Poiketen muista tiedonkeräyskanavista, haastatteluilla ei kerätty tarkkaa, virhetilanteisiin liittyvää laatupalautetta, vaan tarkoitus oli muodostaa yleinen käsitys eri osastojen toimintatavoista. Tämä auttoi ongelmien juurisyiden selvittämisessä sekä tutkimuksen johtopäätösten muodostamisessa.

6.1.1 Kirjalliset raportit ja kyselyt

Laatutiedon keräys aloitettiin kirjallisista raporteista, joita saatiin lähinnä linjan B tuotannon toimihenkilöiltä. Näitä raportteja oli saatavilla noin 9 sivua, joihin oli käsin kirjattuna tuotannossa esiintyviä laatuongelmia. Kokonaisuudessa kirjalliset raportit muodostivat vain pienen osan kaikista laatupalautteista.

Tietoa kerättiin myös kirjallisten kyselyiden avulla. Tätä keräystapaa käytettiin luvussa 6.4 esiteltyjen väyläongelmien selvittämiseen. Tiedon keräys toteutettiin sähköpostin välityksellä, missä vastaajille lähetettiin valmis kyselylomake täytettäväksi. Yhteensä kirjallisiin kyselyihin osallistui seitsemän henkilöä eri puolilta organisaatiota.

6.1.2 Tietojärjestelmät

Tärkein sähköinen tiedonkeruukanava oli yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä. Yksi sen tehtävistä on toimia tuotelinjan laatupalautteiden raportointikanavana ja tästä johtuen se olikin ainut sähköinen tietojärjestelmä, mistä laatupalautetta oli saatavilla. Kaiken kaikkiaan toiminnanohjausjärjestelmästä kerättiin noin 70 laatupalautetta, aikaväliltä joulukuu 2009–huhtikuu 2011. Tämä otos vastaan noin puolta kaikista tutkimukseen kerätyistä laatupalautteista.

Tiedon keräystä helpotti huomattavasti toinen raportointijärjestelmä, joka muodostaa selkeitä raportteja halutuilla reunaehdoilla muun muassa toiminnanohjausjärjestelmän tiedoista. Kaikki laatupalautteet kerättiin lopulta tämän tietokannan raporteista, joista suurin osa oli peräisin linjalta A, koska linjan B laatupalauttejärjestelmä ei ollut käytössä tämän tutkimuksen aikana.

Kaikista tietolähteistä viimeksi mainittu oli vaivattomin tapa kerätä laatupalautetta. Ongelmaksi muodostui kuitenkin tiedon hyväksikäyttö, sillä raporttien palautteisiin ei ollut merkitty tuotantohäiriöihin kulunutta aikaa. Häiriöajat jouduttiin arvioimaan työpajoissa, mihin palataan myöhemmin tässä luvussa. Laatupalautteiden lisäksi tietokannat tarjosivat tietoa tuotantovolyymeista sekä tuotannon eri vaiheiden kustannuksista. Varsinaisiin kustannusten laskentaan palataan luvussa 6.3.

6.1.3 Tuotannon seurannat

Laatupalautteen niukkuudesta johtuen linjalla A käynnistettiin tuotannon seuranta laitteen A loppukokoonpanon, säädön/kalibroinnin sekä koekäytön ajalle. Lisäksi laatupalautetta kerättiin ohjaamosolusta, jonka palautemäärä jäi kuitenkin vähäiseksi. Seuranta aloitettiin yhteisellä palaverilla tutkimuksen suorittajan ja avustajien, sekä tuotannon sähköasentajien kanssa. Aloituspalaverissa esiteltiin tutkimuksen aihe ja perusteltiin, miksi kyseinen seuranta aiotaan käynnistää. Linjan työntekijöiden motivoinnilla oli tässä yhteydessä suuri merkitys, sillä seurannat saatetaan monesti kokea uhaksi työn suorittajille. Palaverissa painotettiin kuitenkin sähköasentajien merkitystä tuotannon kehittämisessä sekä muistutettiin, ettei tarkoitus ole etsiä syyllisiä, vaan selvittää tuotannon taustalla olevia syitä, jotka monesti ovat peräisin huonoista toimintatavoista. Kaikki automaatioon ja sähköön liittyvät laatuongelmat kirjattiin erilliselle palautelomakkeelle. Jokaisen häiriön kohdalle merkittiin myös se yhteenlaskettu aika, joka ongelman ratkaisemiseen kokonaisuudessa kului. Seuranta valvottiin säännöllisillä tarkastuksilla tuotantolinjalle, joiden yhteydessä käsiteltiin suullisesti esiin tulleita ongelmia sekä pohdittiin niiden aiheuttajia.

Linjan A seuranta suoritettiin aikavälillä huhtikuu–toukokuu 2011. Yhteensä seurantalaitteen loppukokoonpanoon, säätöön/kalibrointiin sekä koekäyttöön kului aikaa 2505 tuntia. Näiden vaiheiden yhteenlaskettu standardiaika on 1214 tuntia, joten ylitys oli

tämän laitteen osalta 1291 tuntia (206 %). Loppukokoonpanoon aikaa kului 2198 tuntia (ylitys 191 %) ja säädön/kalibroinnin sekä koekäytön yhteenlaskettu aika oli 307 tuntia (ylitys 480 %). Automaatio- ja sähkövirheisiin kulunut häiriöaika oli yhteensä noin 153 tuntia, joka vastasi noin 6 % osuutta laitteen läpimenoajasta

Seurantalaitteesta palautteita kerättiin yhteensä 47 kappaletta, joka muodosti 29 % kaikista tutkimukseen kerätyistä lautupalautteista. Lukumäärä on selkeä esimerkki laadunvalvonnan tilasta: tutkimukseen kerättiin lautupalautteita yhteensä noin 20 laitteesta, mutta yhden huolellisesti seuratun laitteen palautteet muodostivat lähes kolmasosan kaikista saatavilla olevista lautupalautteista. Äskenen todistaa sen, kuinka pieni osa linjalla havaituista laatuongelmista todellisuudessa päättyy laadunvalvojien ja sitä kautta johdon tietoon. Laadunvalvonnan ongelmiin palataan tarkemmin työn johtopäätöksissä.

Toinen tuotannon seuranta toteutettiin ennen tämän tutkimuksen alkua, aikavälillä marras – joulukuu 2010. Kyseinen seuranta kohdistui laitteeseen B, missä sähkö- ja mekaniikka-asentajien työtehtäviä seurattiin läpi tuotantoprosessin. Työn seuranta kesti yhteensä kolme viikkoa ja siinä kirjattiin ylös kaikki ne toiminnot, mihin linjan työntekijät käyttivät aikaansa. Lisäarvoa tuottamaton työ merkattiin häiriöksi ja häiriöt jaoteltiin sopiviin kategorioihin. Mukaan otettiin kaikki mekaniikkaan, hydraulikkaan, automaatioon ja sähköön liittyvät ongelmatilanteet. Yhteensä työn vaiheisiin kului aikaa 478 tuntia, mistä häiriötilanteiden osuus oli 137 tuntia. Tästä ajasta sähkö- ja automaation osuus oli 24 tuntia. Seuranta erosi linjan A seurannasta siten, että se tapahtui tuotantolinjan ulkopuolisen työntekijän toimesta ja häiriöajat mitattiin minuutin tarkkuudella.

Työn seurannat olivat kaikista tiedonkeräystavoista työläimpiä, mutta myös palkitsevimpia. Kuten aiemmasta huomataan, suuri osa (noin 50 %) tutkimukseen kerätyistä lautupalautteista on peräisin kahdesta seurantalaitteesta. Työn teoriaosuudessa, seurantoja käsittelevässä osuudessa (luku 5.5.2) varoiteltiin niihin liittyvistä ongelmista. Seurannat koetaan usein epäluottamuslauseeksi seurantakohteen työntekijöitä kohtaan ja mielletään usein ylimääräiseksi työksi, mistä johtuen työntekijöiden motivaatio seurantoja kohtaan laskee. Tämän tutkimuksen kohdalla edellä mainittuihin ongelmiin ei kuitenkaan törmätty. Tilanne oli todellisuudessa päinvastainen: linjan työntekijät osallistui-
vat seurantaan mielellään, koska he kokivat siitä olevan hyötyä myös itselleen. Yhtenä seurantojen ongelmana mainitaan myös tiedon epäluotettavuus: voidaanko lyhyen seurannan perusteella tehdä luotettavia yleistyksiä pidemmälle ajanjaksolle? Jälleen kerran tässä tapauksessa näin voidaan todeta olevan, sillä sähköasentajien mukaan suurin osa linjalla havaituista laatuongelmista on jatkuvia. Toisin sanoen iso osa laatuongelmista toistuu lähes jokaisessa laitteessa.

Seurantojen avulla kerättiin virhetilanteiden lisäksi niihin kulunut häiriöaika. Seurannat toimivat myös erinomaisena pohjustuksena laatuongelmien juurisyiden selvittämiseksi, sillä niihin osallistuneet sähköasentajan osallistuivat myös työpajoihin, missä kerätyt

palautteet analysoitiin tarkemmin. Näin työpajoihin osallistuneilla henkilöillä oli tuoreessa muistissa linjalla esiintyneet laatupuutteet ja siten tiedon käsittely oli helpompaa.

6.1.4 Haastattelut

Tutkimushaastattelun teoriaa käsiteltiin tarkemmin luvussa 5.5.2. Haastatteluilla ei kerätty varsinaista lautupalautetta, vaan pyrkimyksenä oli muodostaa yleiskuva yrityksen toimintatavoista sekä eri osastojen välisestä yhteistyöstä. Lisäksi haastatteluilla pyrittiin muodostamaan – mahdollisimman monesta eri näkökulma – käsitys siitä, mistä tuotannon ongelmat ovat peräisin. Haastattelut toimivat siis perehdytyksenä yrityksen toimintatapoihin. Yhteensä haastatteluja pidettiin neljä kappaletta. Linjan A sähkö- ja automaatio suunnittelun henkilöstöä haastateltiin molempia erikseen ja vastaavasti linjan B sähkö- ja automaatio suunnittelun henkilöstöä haastateltiin yhdellä kerralla. Lisäksi haastateltaviksi kutsuttiin laadunvarmistusosaston toimihenkilöitä. Yhteensä haastatteluihin osallistui 11 toimihenkilöä ja kokonaishaastatteluajaksi muodostui noin viisi tuntia.

Haastatteluilla pyrittiin selvittämään näkemyksiä seuraavista aihepiireistä:

- Uusien ideoiden ja suunnittelutarpeiden syntyminen
- Valmistettavuuden huomioiminen suunnittelussa
- Tuotantoon vienti
- Testattavuus
- Muutostenhallinta
- Standardointi/vakiointi/modulointi
- Tuotannon dokumentointi
- Suunnittelun kustannuslaskenta

Työn kannalta luontevin haastattelutyyppejä oli teemahaastattelu. Strukturoidussa haastattelussa kysymykset olisivat olleet liian suoria eikä tarkennusten tekeminen olisi ollut mahdollista. Toisaalta taas avoin haastattelu ei olisi rajannut aihepiiriä tarpeeksi. Ennen varsinaista haastattelua haastateltaville lähetettiin sähköpostitse lista käsiteltävistä aihepiireistä. Haastatteluissa pyrittiin vapaaseen keskusteluun listan toimiessa runkona.

Varsinaiset haastattelut toteutettiin 2–4 hengen ryhmähaastatteluina. Yksilöhaastatteluihin verrattuna ryhmähaastattelut olivat tehokkaita, koska jokaista haastateltavaa ei tarvinnut haastatella erikseen. Ryhmästä saatiin tietoa myös tavallista enemmän, koska ryhmän eri jäsenet pystyivät yhdessä pohtimaan käsiteltävää aihetta sekä tukemaan toisia todenmukaisemman vastauksen löytämiseksi.

6.2 Laatatiedon käsittely

Kerättyä laatupalautetta ei sellaisenaan voitu hyödyntää, vaan tieto täytyi jakaa sopiviin kategorioihin, jotta ongelmien taustalla olevat juurisyyt voitiin selvittää. Jatkuva laadun parantaminen edellyttää nimenomaan niiden syiden poistamista, joista tuotannon ongelmat ovat lähtöisin. Laatukustannuslaskennan yksi tärkeimmistä tavoitteista onkin siirtyminen virheiden korjauksesta kohti *ennaltaehkäisevää laadun parantamista*. Seuraavaksi käsitellään sitä, miten ongelmien taustalla olevat juurisyyt selvitettiin ja minkälaisiin kategorioihin laatupalautteet jaoteltiin.

6.2.1 Juurisyiden selvittäminen

Kaikki kerätyt laatupalautteet käsiteltiin erikseen luvussa 5.5.3 esitellyn ”5 x miksi” -menetelmän avulla. Menetelmää sovellettiin yhteensä kuudessa työpajassa, joihin osallistui molempien tuotantolinjojen työntekijöitä loppukokoonpanosta sekä sähkö tarkastuksesta. Lisäksi työpajoissa oli mukana tuotannon automaatio-insinöörejä sekä tutkimusosaston henkilöstöä. Aluksi läsnäolijoille esiteltiin työn aihe ja perusteltiin miksi juuri heidät on kutsuttu paikalle. Pohjustuksen jälkeen osallistujille näytettiin laatupalaute kerrallaan ja esitettiin kysymys: ”mistä tämä ongelma johtuu”? ”Mikä aiheuttaa tämän ongelman esiintymisen”? Juurisyiden selvittämiseksi vastaajilta jouduttiin usein kysymään tarkentavia jatkokysymyksiä. Kyselyissä meneteltiin kuitenkin niin, ettei vastaajaa johdateltu mihinkään tiettyyn lopputulokseen, vaan tarkoitus oli etsiä mahdollisimman rehellistä vastausta ongelman aiheuttajasta. Lähes jokaisen ongelman juurisyy löytyi usein jo kahden perättäisen ”miksi” -kysymyksen avulla. Menetelmä voi tuntua lapselliselta, koska vastaajilta kysytään monesti itsestään selviltä tuntuvia jatkokysymyksiä. Alla on esimerkki työpajassa käsitellystä päättelyketjusta. Sen avulla selvisi, että paineanturit olivat ristissä, koska ohjausjärjestelmässä käytetään paljon virhealtista erilliskaapelointia.

Laatupalaute: Iskun ja pyörityksen paineanturit olivat ristissä.

K1: Miksi anturit olivat ristissä?

V1: Asentaja oli tehnyt kytkentävirheen.

K2: Miksi asentaja oli tehnyt kytkentävirheen?

V2: Kyseessä oli inhimillinen virhe, joita tapahtuu kohtuullisen usein.

K3: Miksi näitä kytkentävirheitä syntyy?

V3: Asentajat joutuvat kytkemään päivittäin suuria määriä kaapeleita ja siksi inhimillisiä virheitä syntyy väistämättä.

K4: Miksi asentajat joutuvat kytkemään suuria määriä kaapeleita?

V4: Käytetään erillisjohdotusta väylätekniikan hyödyntämisen sijaan.

Kaikkiin kerättyihin laatupalautteisiin ei ollut merkitty ongelmaan kulunutta häiriöaikaa. Häiriöaika on kuitenkin välttämätön kustannusten laskennassa. Molemmissa seurantalaitteissa häiriöajat löytyivät, mutta tietojärjestelmissä näin ei ollut. Niinpä työpajojen yhteydessä osalle laatupalautteista jouduttiin arvioimaan ongelmaan kulunut häiriöaika. Arvioituihin aikoihin sisältyy kaikki se lisäarvoa tuottamaton työaika, joka ongelman ratkaisemiseksi kului. Jos kyseessä oli esimerkiksi viallinen komponentti, häiriöaikaan merkittiin vian etsimiseen, komponentin irrottamiseen, uuden komponentin hakeamiseen sekä uudelleenasetukseen kulunut aika. Jos ongelma vaati useamman ihmisen työpanoksen, kerrottiin kulunut aika henkilöiden lukumäärällä.

Häiriöaikojen arviointiin liittyy aina epävarmuutta. Tässä tapauksessa arvioiden voidaan olettaa osuneen hyvin lähelle todellisuutta, sillä monet esiin tulleet ongelmat ovat toistuvia ja siksi linjan työntekijöillä oli paljon vastaavia kokemuksia niiden korjauksesta. Toisekseen arviointeihin osallistuneet sähköasentajat olivat kokeneita ja pystyivät siten melko tarkasti arvioimaan sitä, kuinka kauan tietyn virheen korjaus tyypillisesti kestää. Suurimmassa osassa arvioinneista päästiin 15 minuutin tarkkuuteen tai ajoittain jopa viiden minuutin tarkkuuteen.

6.2.2 Laatupalautteiden jaottelut

Laaja-alaisen pohdinnan mahdollistamiseksi kerätyt laatupalautteet jaoteltiin tutkimuksen kannalta järkeviin kategorioihin. Luokittelu helpotti tiedon keruuta, juurisyiden selvittämistä sekä palveli laatukustannusten laskentaa. Tärkein syy luokitteluille oli tiedon jakaminen sellaisiin kategorioihin, jotka parhaiten palvelevat ylemmän johdon päätöksentekoa: tarkoitus on esittää tieto niin, että tuotannosta voidaan riittävällä tarkkuudella tunnistaa tärkeimmät kehityskohteet.

Jaotteluissa täytyy muistaa myös se tosiasia, että laatupalautteet olivat monesti hyvin epätarkkoja, eikä niitä sen vuoksi voitu täysin yksiselitteisesti liittää tiettyyn kategoriaan. Tilanne ei kuitenkaan ollut epätavallinen, sillä kuten työn teoriaosuudessa todettiin, sama laatukustannus voi liittyä moneen kustannuskategoriaan ja siksi jaottelua on vaikea tehdä (katso luku 5.2). Niinpä jaottelu tehtiin aina kriittisimpien tekijöiden perusteella. Toisen sanoen tietyissä tapauksissa sama palaute olisi voinut sopia useampaan kuin yhteen kategoriaan, mutta valinta tehtiin aina sen perusteella, mihin kyseinen palaute parhaiten sopii. Tämä ei kuitenkaan vääristä tutkimuksen tuloksia, koska tulokset on esitetty monesta eri näkökulmasta käyttämällä useita eri jaotteluperusteita. Laaja-alainen jaottelu voi myös nostaa esille useampia kehityskohteita kuin suppeampi tarkastelu.

Tutkimuksen aikana kaikki laatupalautteet kerättiin yhteen taulukkoon niin, että linjan A ja linjan B ongelmat eroteltiin toisistaan. Palautteet jaoteltiin aluksi karkeisiin katego-

rioihin tiedonkeruun helpottamiseksi. Jakoperusteena tässä vaiheessa käytettiin ohjausjärjestelmän fyysisiä osia – anturit, kaapelit jne. – sekä itse laitteiden fyysisiä osia – ohjaamo, dieselmoottori jne. Tähän jaotteluun ei ole syytä perehtyä syvällisemmin, koska sen ainoa tarkoitus oli helpottaa tiedon keruuta ja alustavaa tiedon jäsentelyä.

Virhekoodit

Ensimmäinen tutkimuksen tavoitteita palveleva jaottelu perustui yleisesti laatupalautteissa käytettyihin virhekoodeihin. Esimerkki virhekoodien mukaisesta jaottelusta löytyy taulukosta 6.1, johon on valittu ainoastaan sähkö-, automaatio- ja dokumentointivirheet.

Taulukko 6.1. Esimerkki virhekoodien mukaisesta jaottelusta.

Virhekoodi	Selitys
310	Sähkö – väärä komponentti
320	Sähkö – virheellinen komponentti
330	Sähkö – löysä liitos
340	Sähkö – väärä kytkentä
350	Sähkö – virheellinen säätöarvo
360	Sähkö – suojausvirhe
390	Sähkö – asennusvirhe

Koko yrityksen tasolla virhekoodit on jaoteltu seuraaviin luokkiin: mekaniikka, hydraulikka, sähkö, automaatio, toimitussisältö, dokumentointi, lopputestaus, info, välikiristely, pintakäsittely. Virhekoodien mukaisen jaottelun syy on tarkastella sitä, kuinka hyvin ne palvelevat tuotannon laadun mittaamista.

Ensimmäisen tason juurisyyt

Toiseen jaotteluun on pyritty tuomaan mahdollisimman tekninen lähestymistapa ja niinpä jaotteluperusteina käytettiin tuotannon/laitteiden ”fyysisiä elementtejä”. *Nämä kategoriat on valittu työpajoissa selvitettyjen ensimmäisten juurisyiden perusteella.* Jaotteluun kuuluvat ohjausjärjestelmän komponentit, CAN-väylän fyysiset osat sekä erilliset I/O kytkentöihin liittyvät ongelmat. Lisäksi mukaan otettiin tuotannon dokumentointiin liittyvät ongelmat. Nämä neljä pääkategoriaa on edelleen jaettu pienempiin osiin taulukossa 6.2 esitetyllä tavalla. *Esitystavan tarkoitus on tutkia niitä teknisiä ratkaisuja, jotka vaikeuttavat tuotantoa.*

Taulukko 6.2: *Laatukustannusten kategoriat fyysisten ominaisuuksien mukaisesti.*

Komponentit	Dokumentit	Väylät	Erillis-I/O
vialliset anturit	puuttuvat	konfigurointivirheet	koteloiden sisäiset kytkennät
vialliset toimilaitteet	puutteelliset	kytkentävirheet	koteloiden ulkoiset kytkennät
vialliset (valmis)kaapelit	väärät	komponenttivilheet	
vääränlaiset kotelorakenteet	vanhat	väärät kaapelointi komponentit	
		teknologiaongelmat	

Komponentit on jaettu viallisiin antureihin, -toimilaitteisiin ja -valmiskaapeleihin sekä vääränlaisiin kotelorakenteisiin. Erillis-I/O kytkennät on jaettu sähkörasioiden sisäisiin ja ulkoisiin kytkentöihin. Dokumenteista on eroteltu puuttuvat dokumentit puutteellisista sekä väärät dokumentit vanhoista. CAN-väylästä on eroteltu konfiguraatiovirheet, kytkentävirheet, komponenttivilheet, väärät kaapelointikomponentit sekä itse väyläohjaukseen liittyvät teknologiaongelmat. Tämän jaottelun perusteella voidaan selkeästi osoittaa ne fyysiset ongelma-alueet, joita kehittämällä tuotanto paranee välittömästi.

Perimmäiset juurisyyt

Tässä kolmannessa jaottelussa pyrittiin tuomaan esille edellistä lähestymistapaa yleisempiä ongelmia. *Jaottelun tarkoitus on käsitellä yrityksen ylemmän tason toimitapa- ja ajattelutapaongelmia*, jotka tulivat esille työpajoissa selvitettyjen perimmäisten juurisyyden perusteella. Ongelmat on jaoteltu taulukon 6.3 mukaisesti kuuteen eri kategoriin: yhteissuunnittelun puute/johtaminen, huonot prosessit, puutteellinen sitoutuminen prosesseihin, muutostenhallinta, osaoptimointi sekä huonot tekniset valinnat. Tämän jaottelun esiintuomat ongelmat ovat edellistä jaottelua laajempia ja siksi myös niiden kehittäminen on vaikeampaa. Täytyy kuitenkin muistaa, että kaikki tuotannon ongelmat ovat peräisin näistä ”ylemmän tason” ongelmista, joten kehittämällä näitä alueita, voidaan yrityksen kokonaisvaltaista laatua parantaa pysyvästi.

Taulukko 6.3: *Laatukustannusten kategoriat perimmäisten juurisyyden mukaisesti.*

Kategoriat
Yhteissuunnittelun puute/johtaminen
Huonot prosessit
Puutteellinen sitoutuminen prosesseihin
Muutostenhallinta
Osoptimointi
Huonot tekniset valinnat

Yhteissuunnittelun puute ja johtamisongelmat liittyvät monesti nykyaikaisiin funktionaalisiin organisaatorakenteisiin, missä eri osastot on eroteltu toisistaan yksittäisiksi tulosityksiköiksi. Näitä organisaatiomalliin liittyviä ongelmia käsiteltiin tarkemmin luvussa 4.3.

Huonoilla prosesseilla tarkoitetaan kaikkia niitä ongelmia, jotka liittyvät ennalta suunniteltuihin toimintamalleihin. *Useinkaan ongelmat eivät aiheudu yksittäisten ihmisten laaduttomasta työskentelystä, vaan pikemminkin suunniteltujen prosessien ja toimintamallien laaduttomuudesta.* Prosessien laaduttomuus voi johtua ongelmien rutiininomaisesta luonteesta: jos tietyt ongelmat toistuvat tarpeeksi usein ja pitkään, ne voidaan ikään kuin hyväksyä ja todeta niiden kuuluvan jokapäiväiseen toimintaan.

Puutteellisella sitoutumisella prosesseihin tarkoitetaan hyväksi todettujen toimintatapojen laiminlyömistä. Jos on olemassa sellainen prosessi, joka on todistettavasti laadukas, mutta sitä ei jostain syystä toteuteta tai haluta toteuttaa, on kyseessä puutteellinen sitoutuminen prosesseihin. Esimerkkinä tästä voidaan mainita puutteellinen sitoutuminen CANopen hallintaprosessiin, jota noudattamalla on mahdollista varmistaa ohjausjärjestelmän hyvä kokoonpantavuus, huollettavuus sekä toimivuus.

Muutostenhallinta on erittäin tärkeässä roolissa toimivassa organisaatiossa. Sanonnan mukaan *ainut mikä on pysyvää, on muutos*. Niinpä jatkuvaan muutokseen on varauduttava ja siihen täytyy olla valmiiksi suunnitellut toimintatavat, joiden avulla muutokset toteutetaan sujuvasti. Muutostenhallintaan liittyy muun muassa dokumenttien päivitys, työntekijöiden koulutus ja kokoonpanon uudelleensuunnittelu.

Osoptimoinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, kun osien ostopäätökseen tai osakokoonpanojen toteutukseen vaikuttaa ensisijaisesti niiden hinta, eikä niinkään osien laadukkuus, kokoonpantavuus, yhteensopivuus, korvattavuus tai niiden soveltuvuus suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Tähän kategoriaan sisältyvät siis kaikki ne komponentit, joiden valinta on perustunut halpaan hankintahintaan, ilman että edellä mainittuja välillisiä vaikutuksia on huomioitu.

Huonoilla teknisillä valinnoilla on suora vaikutus laitteiden toimivuuteen, huollettavuuteen, kokoonpantavuuteen sekä näiden seurauksena myös laitteen kokonaiskustannuksiin. Tähän kategoriaan on siis jaoteltu kaikki automaatioon ja sähköön liittyvät huonot tekniset valinnat.

6.3 Laatumuutosten laskennan tulokset

Tarkasteltavien laitteiden historian ensimmäinen laatumuutosten projekti tehtiin annettujen rajausten puitteissa. Täydellinen PAFF-mallin (katso luku 5.2) mukainen laskenta ei olisi ollut mahdollista työn pituudesta johtuen, joten laskentaan otettiin mukaan ainoas-

taan mallin jälkimmäinen F-osio, eli yrityksen sisäiset virhekustannukset. Laskenta rajattiin lisäksi ainoastaan sähkö- ja automaatiiovirheisiin.

Tuotannon kustannukset syntyvät kahdesta osasta, resurssi 1:stä ja resurssi 2:sta. Resurssi 1 sisältää työvoiman kustannukset, jonka yksikköhinta on vakio kaikissa tuotantoprosessin vaiheissa. Resurssi 2 muodostuu lisäyslaskennan mukaisesta yleiskustannuslisästä (yk-lisä), johon on vyörytetty muun muassa seuraavia kustannuksia:

- Kiinteistönhuolto (mm. lämmitys, sähkö, vesi, vartiointi, siivous, rakennusten ylläpito) sekä osastojen omat yleiskustannukset
- Hallinto (vain pieneltä osin)
- Työnjohtajien ja tuotannon toimihenkilöiden palkat sekä muut kulut
- Poistot (rakennuksista sekä kyseisen osaston omat poistot)

Resurssin 2 kohdalla ei siis voida puhua yhdestä resurssista, vaan pikemminkin resursialtaasta, joka sisältää useita eri resursseja. Näistä kustannusryhmistä kiinteistönhuolto on suurin, noin 50–85 % osuudella osastosta riippuen. Työvoimakustannuksista poiketen, yk-lisän suuruus vaihtelee tuotantoprosessin eri vaiheissa taulukon 6.4 mukaisesti. Luvut on suhteutettu tuotannon työvoimakustannuksen tuntihintaan.

Taulukko 6.4: YK-lisän suuruus tuotantoprosessin eri vaiheissa.

Kustannuspaikka	YK-lisä/tunti	
	Linja A	Linja B
Loppukokoonpano	84 %	118 %
Säätö/kalibrointi	84 %	140 %
Koekäyttö	150 %	140 %

Vaihtelu johtuu muun muassa eri kokoonpanopaikkojen pinta-alasta, henkilömäärästä sekä tuotantopanosten käytöstä. Lisäksi yk-lisän suuruuteen vaikuttaa osastojen väliset käyttöomaisuuden vaihtelut – jotka vaikuttavat poistojen suuruuteen – sekä työnjohdon tarve (toimihenkilökulut) sekä osastoilla kertyneiden työtuntien määrä.

Tässä työssä tuotantokustannukset lasketaan kaavalla 2, missä tuotannon tuntimäärä kerrotaan resurssien 1 ja 2 summalla.

$$\text{tunnit} \times (\text{resurssi 1} + \text{resurssi 2}) = \text{tuotantokustannus} \quad (2)$$

Laatukustannuslaskennan tulokset esitellään alla olevissa luvuissa 6.3.1–6.3.4. Kustannukset on laskettu kaavan 2 mukaisesti ja jaoteltu aiemmin esiteltuihin kategorioihin. Näissä luvussa esitellään ainoastaan laskennan tulokset ja tulosten pohjalta tehtäviin johtopäätöksiin paneudutaan tarkemmin luvussa 7.

6.3.1 Kustannukset vakiovirhekoodien mukaisesti

Ensimmäinen laatukustannusten esitystapa perustuu tuotannon virhekoodeihin. Tämän jaottelun tarkoitus on tarkastella sitä, kuinka hyvin koodit todellisuudessa vastaavat tuotannon ongelmatilanteita eli kuinka hyvin niitä voidaan hyödyntää laatupalautteiden raportoinnissa. Onko koodeja riittävästi ja onko koodeissa mukana sellaisia, jotka eivät sovellu tuotannon laatupalautteiden esitystavaksi? Tässä vaiheessa ei siis ole syytä keskittyä varsinaisesti laatukustannusten suuruuteen, vaan pikemminkin niiden soveltuvuuteen sekä jakautumiseen eri virhekategorioiden välillä.

Laskennan tulokset on esitetty liitteiden 2 ja 3 taulukoissa niin, että linjan A ja linjan B tulokset on eroteltu toisistaan. Tuloksiin sisältyy siis kaikki työhön kerättyjen laatupalautteiden perusteella lasketut kustannukset. Laatukustannusten jaottelua käsittelevässä teoriaosuudessa (katso luku 5.2) todettiin, että kustannusten jaottelu on usein vaikea tehdä, koska monesti sama kustannus voi liittyä useampaan kustannuskategoriaan. Sama ongelma havaittiin myös tämän tutkimuksen yhteydessä. Niinpä kaikki ne ongelmat, mitä ei voitu sisällyttää tiettyyn virhekoodiin, merkattiin taulukon viimeiseksi, kohtaan ”muut”-ongelmat.

Taulukoista nähdään, että ylivoimaisesti suurimmat kustannuserät molemmilla linjoilla ovat virhe-340 (sähkö-väärä kytkentä) ja virhe-390 (sähkö-asennusvirhe). Laatupalautteiden jaottelu näiden kahden kategorian välillä oli kuitenkin usein ongelmallista. Aina ei voitu selkeästi sanoa, kumpaan kategoriaan virhe kuului, koska kategoriat ovat määritelmien mukaan hyvin lähellä toisiaan. Linjalla A väärät sähkökytkennät muodostivat jopa 47 %, ja linjalla B, 39 % kaikista virhekustannuksista. Yhteensä niiden osuus kaikista laatukustannuksista oli noin 43 %. Asennusvirheiksi merkattiin linjalla A 6 % ja vastaavasti linjalla B 22 % kustannuksista. Linjalla A myös dokumentointi näyttäisi olevan merkittävä ongelma noin 9 % osuudella.

Mielenkiintoista on myös havaita, että molemmilla linjoilla 28 % laatupalautteista ei sopinut mihinkään virhekoodien mukaiseen kategoriaan. Lisäksi yhteensä 15 eri virhekategoriasta hyödynnettiin linjalla A vain seitsemää ja linjalla B kahdeksaa. Tarkemmin katsottuna näistä koodeista todellisuudessa vain kolmea (340, 390, 640) hyödynnettiin laajalti, ja ne kattavatkin linjalla A jopa 62 % ja vastaavasti linjalla B 61 % kaikista laatukustannuksista.

Sen enempää vielä tässä vaiheessa puuttumatta varsinaisesti laatukustannusten suuruuteen, taulukon tuloksista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset: käytössä olevat virhekoodit palvelevat heikosti tuotannon laadunvalvontaa, koska noin lähes kolmasosa (28 %) laatukustannuksista ei sopinut mihinkään kategoriaan ja toisaalta virhekoodeista kolme keräsivät yhteensä yli 60 % kaikista laatukustannuksista. Tämän perusteella suurinta osaa virhekoodeista ei hyödynnetty lainkaan tai hyödynnettiin vain hyvin vähän.

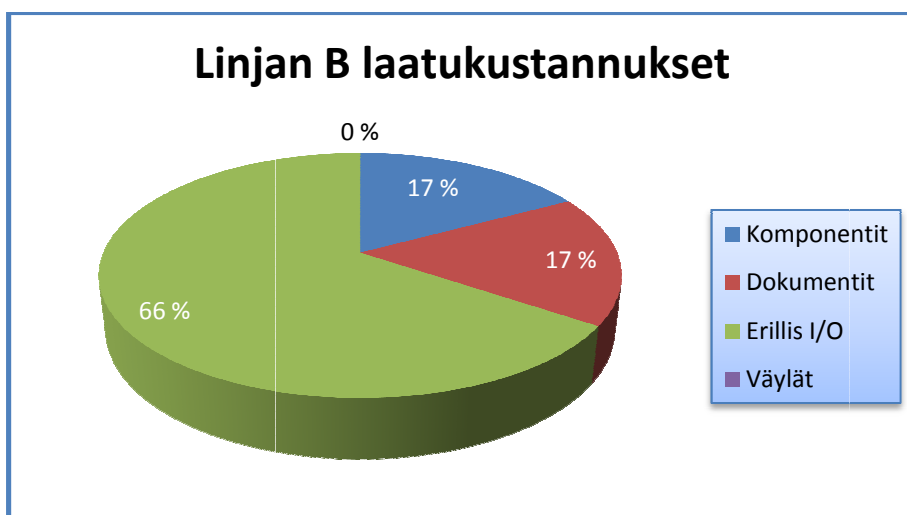
Toisaalta tämä voi tarkoittaa myös sitä, että tuotannossa esiintyvät ongelmat liittyvät suurimmaksi osaksi vain tietynlaisiin ongelmiin eli erilliskaapeloinnista johtuviin asennusvirheisiin sekä puutteelliseen dokumentointiin.

6.3.2 Kustannukset ensimmäisten juurisyiden mukaisesti

Koska edellä esitetty virhekoodeihin perustuva kustannusten jaottelu ei palvele tarpeeksi hyvin tämän tutkimuksen tavoitteita, jouduttiin niiden tilalle kehittämään uudet jaotteluperusteet. Tässä laatukustannusten esitystavassa jakoperusteina on käytetty aiemmin luvussa 6.2.2 esiteltyä ”*teknistä lähestymistapaa*”. Kustannukset on jaettu karkeasti neljään eri kategoriaan: komponentit, dokumentit, väylät sekä erillis-I/O. Seuraavaksi esitellään ainoastaan laskennan tulokset niin, että linjojen A ja B tulokset on jälleen eroteltu toisistaan. Molempien linjojen yhteydessä esitellään aluksi linjan kokonaiskustannukset, jonka jälkeen kategoriat on purettu vielä pienemmiksi kuvaajiksi myöhempää analyysiä varten. Alla esitetyt tulokset edustavat kaikkia niitä laatukustannuksia, jotka työhön kerättyjen laatupalautteiden pohjalta on laskettu.

Linjan B kokonaislaatukustannukset

Kuvaajaan 6.1 on laskettu kaikki linjan B laatukustannukset. Tulokset kertovat sen, miten kustannukset jakautuvat eri kategorioiden välillä. Laatuongelmien kokonaisvaltaisia kustannusvaikutuksia lasketaan tarkemmin luvussa 6.3.4, missä tulokset yleistetään vuositason.



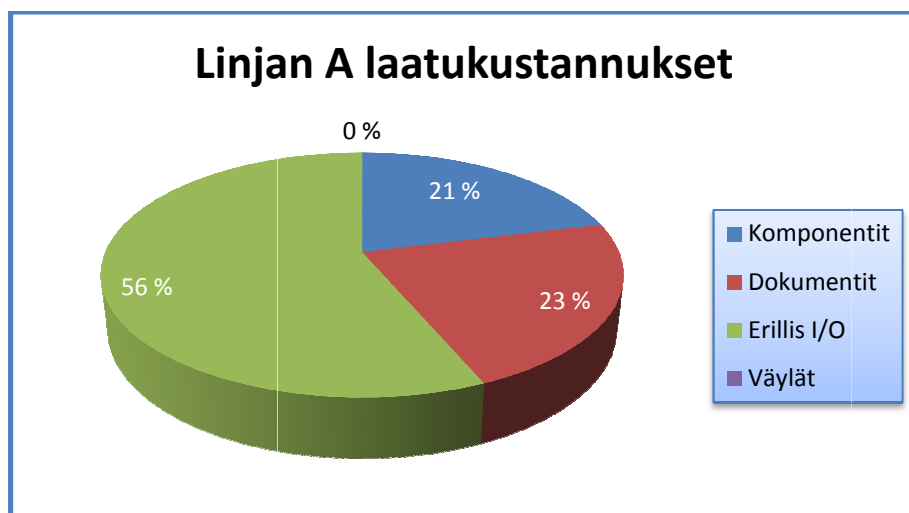
Kuva 6.1. Linjan B laatukustannusten jakautuminen ensimmäisten juurisyiden välillä.

Kuvaajan 6.1 perusteella ylivoimaisesti suurin kustannuserä linjan B tuotannossa on erilliskaapelointi (erillis-I/O), joka muodostaa jopa 66 % kaikista sähkön ja automaation laatukustannuksista. Komponenttien ja dokumentoinnin laatukustannukset muodostavat molemmat noin 17 % kaikista kustannuksista. Laskennan perusteella ehkä kaikkein mielenkiintoisin tulos on se, että mikään ei viittaa siihen, että väylätekniikka aiheuttaisi ongelmia tuotannossa. CANopen tekniikkaan kohdistuva kritiikki näyttäisi siis näiden

tulosten perusteella olevan aiheutonta. Pikemminkin näyttäisi siltä, että jos CANopen teknologiaa ei sovelleta sen määrittelemien standardien perusteella, tuotannon laatuongelmat tulevat jatkumaan. Vaikka erilliskaapeloinnin laatukustannukset eivät näytä vielä tässä vaiheessa kovin suurilta, tulos on kuitenkin merkittävä. Yksi työn tavoitteista olikin tutkia, kuinka instrumentoinnin perusratkaisut – erillis-I/O:n tai väylätekniikan käyttö – vaikuttavat tuotannon kustannuksiin. Tulosten perusteella tämä tavoite on linjan B osalta ratkaistu.

Linjan A kokonaislaatukustannukset

Linjan A laatukustannukset on piirretty kuvaajaan 6.2. Kustannukset on jaoteltu samoihin kategorioihin kuin linjalla B, jotta linjojen välinen vertailu olisi mahdollista. Kokonaisuudessa linjan A laatukustannukset olivat hieman suuremmat kuin linjan B (118 %), johtuen sen suuremmasta palautemäärästä. Tähän vaikutti osaltaan laitteen A tuotannon seuranta, jossa ongelmia seurattiin normaalia laadunvalvontaa tarkemmin. Linjojen kokonaislaatukustannukset olivat kuitenkin kohtuullisen lähellä toisiaan, mikä todistaa sen, että tuotannon ongelmat eivät ole linjakohtaisia, vaan esiintyvät kaikkialla tuotannossa.



Kuva 6.2. *Linjan A laatukustannusten jakautuminen ensimmäisten juurisyiden välillä.*

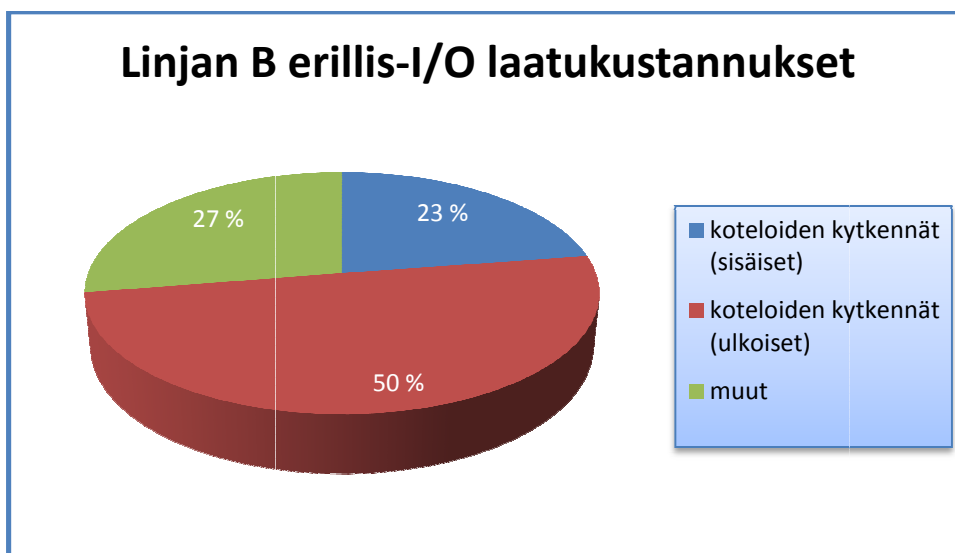
Kuten linjalla B, myös linjalla A suurin ongelma-alue on erilliskaapelointi, joka muodostaa peräti 56 % kokonaiskustannuksista. Toiseksi suurin kustannuserä on dokumentointi, jonka osuus oli 23 %. Komponentteihin liittyvät laatukustannukset muodostivat linjalla A noin 21 %. Kun tuloksia verrataan vastaaviin linjan B tuloksiin, huomataan, että kustannukset jakautuvat hyvin samalla tavalla eri kategorioiden välillä. Linjalla A dokumentointi ja komponentit näyttäisivät muodostavan kuitenkin hieman suuremman osan kokonaiskustannuksista kuin linjalla B, mutta toisaalta erillis-I/O:n osuus on linjalla A hieman linjaa B pienempi. Samoin kuin linjalla B, kuvan 6.2 perusteella huomiota herättävin tulos on se, että väylätekniikkaan liittyvät laatukustannukset olivat 0 % kaikista kustannuksista. Yksi työn tavoitteista – joka oli tutkia kuinka instrumentoinnin

perusratkaisut vaikuttavat tuotannon kustannuksiin – on siis saavutettu myös linjan A tulosten perusteella.

Seuraavassa esitystavassa edellisten kuvaajien (6.1, 6.2) kategoriat on pilkottu edelleen pienempiin osiin ja tulokset on esitetty kuvaajissa 6.3 – 6.8. Linjojen A ja B laatukustannukset on jälleen eroteltu toisistaan ja tässä yhteydessä esitetään ainoastaan laskennan tulokset.

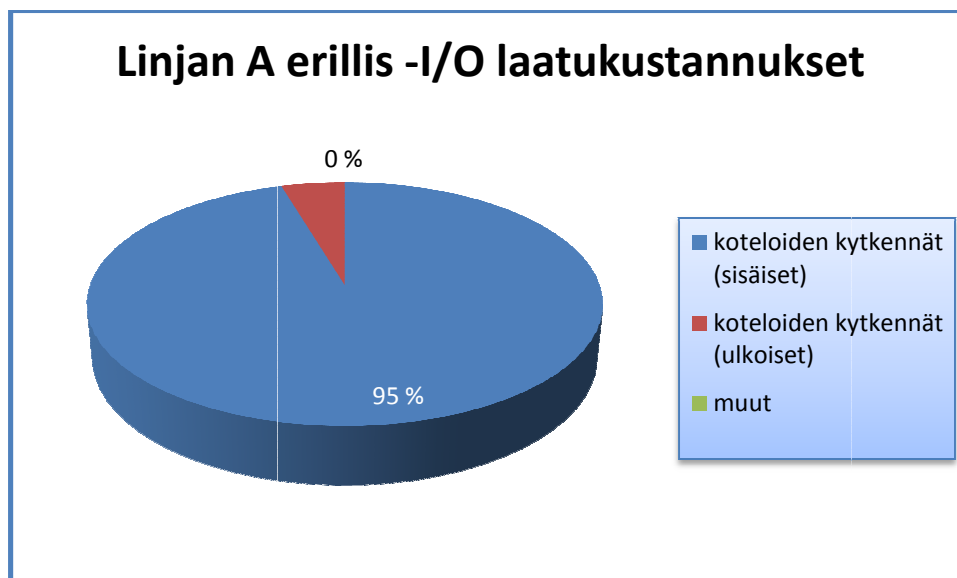
Erillis-I/O:n laatukustannukset

Erilliskaapeloinnin aiheuttamat laatukustannukset on jaettu pienempiin osiin kuvien 6.3 ja 6.4 osoittamalla tavalla. Kaapeloinnista on eroteltu sähkörasiakokoonpanojen sisäiset kytkennät niiden ulkoisista kytkennöistä. Jos ongelma ei liittynyt ulkoisiin tai sisäisiin kytkentöihin, merkattiin sen kategoriaan ”muut”. Sähkörasioiden tarkoitus on suojata sen sisällä olevia komponentteja ja niiden välisiä kytkentöjä. Koteloita on useita erilaisia ja ne sijaitsevat eri puolilla konetta. Ne sisältävät esimerkiksi ohjelmoitavia logiikoita, kymmeniä riviliittimiä ja mahdollisesti joitakin sulakkeita sekä satoja johtimia.



Kuva 6.3: *Erilliskaapeloinnin laatukustannusten jakautuminen linjalla B.*

Sisäisillä kytkennöillä tarkoitetaan nimensä mukaisesti niitä sähkökytkentöjä, jotka tehdään koteloiden sisällä. Yhdessä sähkörasiassa kytkentöjä – jännitteenjaot mukaan luki-en – voi olla jopa 100–200 kappaletta ja juuri tästä syystä kytkentävirheet ovatkin niin yleisiä. Koteloiden ulkoisilla kytkennöillä tarkoitetaan sitä, kun järjestelmän toimilaite- ja anturikaapelit tuodaan sähkörasioihin holkkitiivisteiden läpi ja kytketään johdin ker- rallaan riviliittimiin.



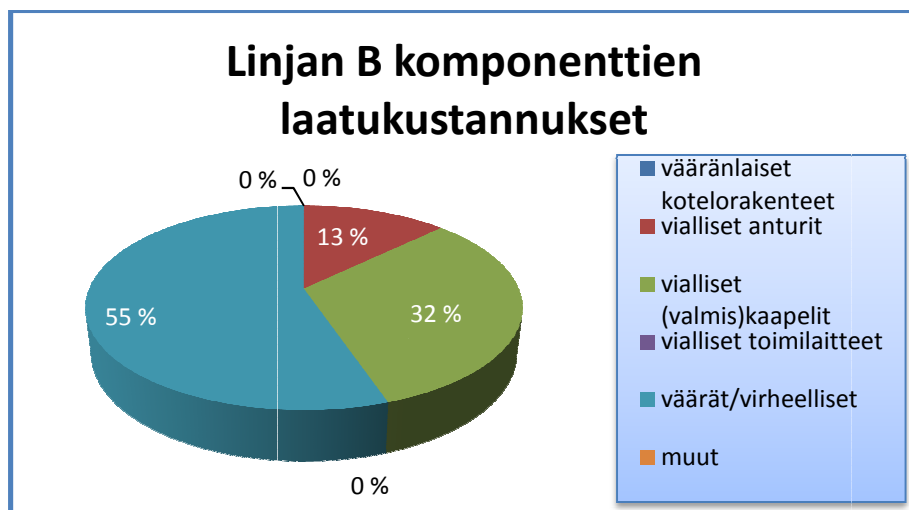
Kuva 6.4: Erilliskaapeloinnin laatukustannusten jakautuminen linjalla A.

Kuvaajien perusteella on mielenkiintoista huomata se, että linjan B suurin kustannuserä on koteloiden ulkoiset kytkennät (noin 50 %), kun taas linjalla A tilanne on päinvastoin: kuvaajan 6.4 perusteella lähes kaikki erilliskaapeloinnin laatukustannukset ovat peräisin sähkökoteloiden sisäisistä kytkennöistä (95 %). Sisäisten kytkentöjen osuus linjalla B on 23 %. Linjalla A ulkoiset kytkennät muodostivat vain 5 % kaikista erilliskaapeloinnin laatukustannuksista. Muihin kuin koteloiden sisäisiin tai ulkoisiin kytkentöihin liittyviä laatukustannuksia ei linjalla A esiinny lainkaan, mutta linjalla B ne muodostavat 27 % kustannuksista. Sisäisten kytkentöjen erottaminen ulkoisista on kuitenkin vaikeaa, koska rasioissa ei käytetä standardiliittimiä.

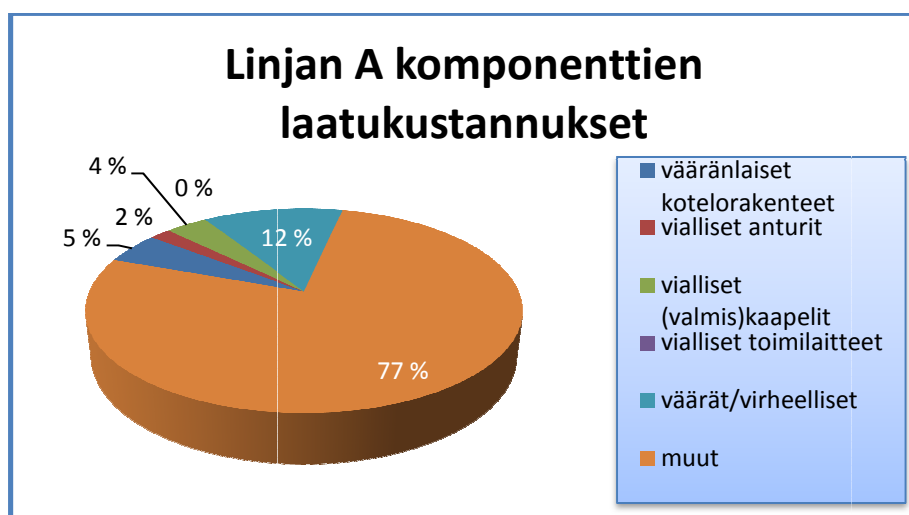
Komponenttien laatukustannukset

Tarkempi jaottelu komponentteihin liittyvistä laatukustannuksista löytyy kuvaajista 6.5 ja 6.6. Kokonaisuudessa komponenttien laatukustannusten osuus linjojen A ja B kaikkien laatukustannuksista oli vastaavassa järjestyksessä 17 % ja 21 %.

Jälleen kerran linjalla A komponentteihin liittyi enemmän laatuongelmia kuin linjalla B. Linjalla B kaikki komponenttien kustannukset jakautuvat kolmen eri kategorian välille kuvan 6.5 mukaisesti. Suurin kustannuserä linjalla B oli väärät/virheelliset komponentit, jotka muodostivat noin 55 % kustannuksista. Toiseksi eniten ongelmia aiheuttivat vialliset valmiskaapelit, joiden osuus oli noin 32 %. Kuva 6.6 mukaan linjalla A ainoastaan vialliset toimilaitteet eivät aiheuttaneet lainkaan laatukustannuksia.



Kuva 6.5. Komponentteihin liittyvien laatukustannusten jakautuminen eri kategorioiden välillä linjalla B.



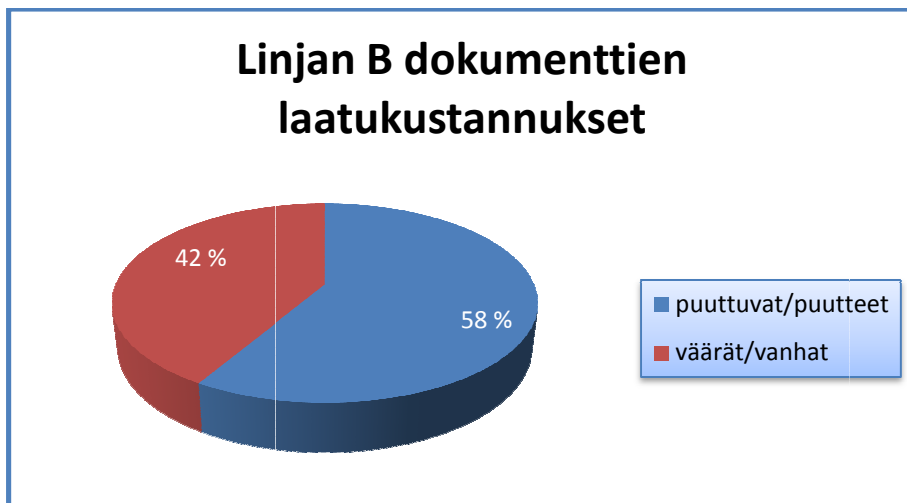
Kuva 6.6. Komponentteihin liittyvien laatukustannusten jakautuminen eri kategorioiden välillä linjalla A.

Suurin kustannuserä linjalla A ei sopinut mihinkään valituista kategorioista, joten ne merkattiin kohtaan ”muut”. Nämä kustannukset muodostivat noin 77 % kaikista linjan A komponenttien laatukustannuksista. Linjan A kuvaajasta huomataan myös se, että vääjän/virheelliset komponentit tuottavat noin kahdeksasosan (12 %) kustannuksista. Loput linjan A komponenttien laatukustannuksista jakautui melko tasaisesti eri kategorioiden välille.

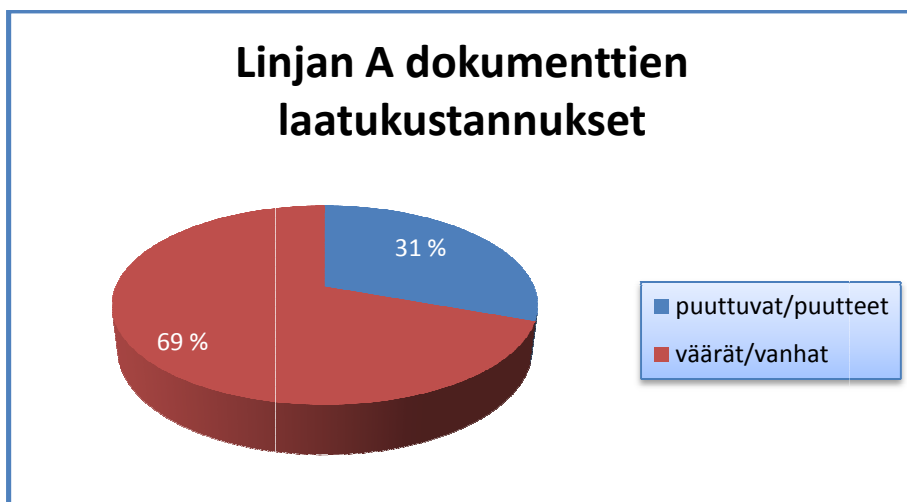
Dokumentoinnin laatukustannukset

Tuotannon dokumentointiin liittyvät laatukustannukset on jaettu tarkemmin kahteen eri kategoriaan: puuttuvat/puutteet sekä vääjän/vanhat. Molempien linjojen dokumentoinnin laatukustannukset on tämän jaottelun mukaan esitetty kuvissa 6.7 ja 6.8. Linjalla B dokumentoinnin osuus kaikista laatukustannuksista oli 17 % ja vastaavasti linjalla A 22.5

%. Absoluuttisen rahamäärän perusteella linjan A dokumentointi on reilusti linjan B dokumentointia heikommalla tasolla.



Kuva 6.7. Dokumentointiin liittyvien laatukustannusten jakautuminen eri kategorioiden välillä linjalla B.



Kuva 6.8. Dokumentointiin liittyvien laatukustannusten jakautuminen eri kategorioiden välillä linjalla A.

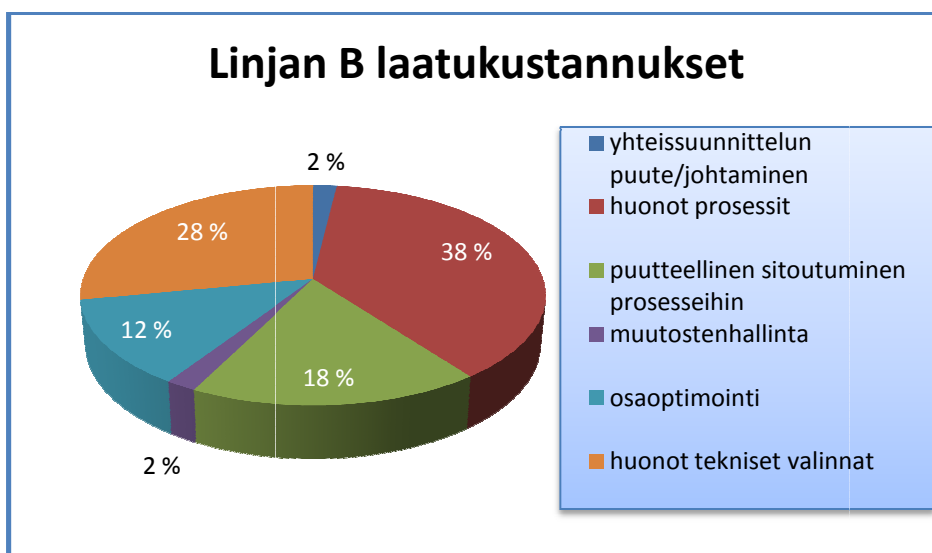
Kuvaajien perusteella kustannukset jakautuvat linjojen välillä päinvastaisesti: linjalla A väärät ja vanhat dokumentit muodostivat suurimman osan laatukustannuksista (69 %), kun taas linjalla B suurimmat ongelmat liittyivät puuttuviin ja puutteellisiin dokumentteihin (58 %)

Edellä esitellyt kustannuskategoriat valittiin työpajoissa pääteltyjen ”ensimmäisten juurisyiden” mukaisesti. Toisin sanoen tuotannossa havaitut ongelmat ovat peräisin näistä ongelma-alueista. Jotta tuotantoa voidaan parantaa pysyvästi, täytyy kuitenkin edelleen kysyä, mistä nämä edellä esitetyt – komponentteihin, dokumentointiin ja erilliskaapelointiin – liittyvät ongelmat ovat peräisin. Tähän kysymykseen paneudutaan seuraavassa

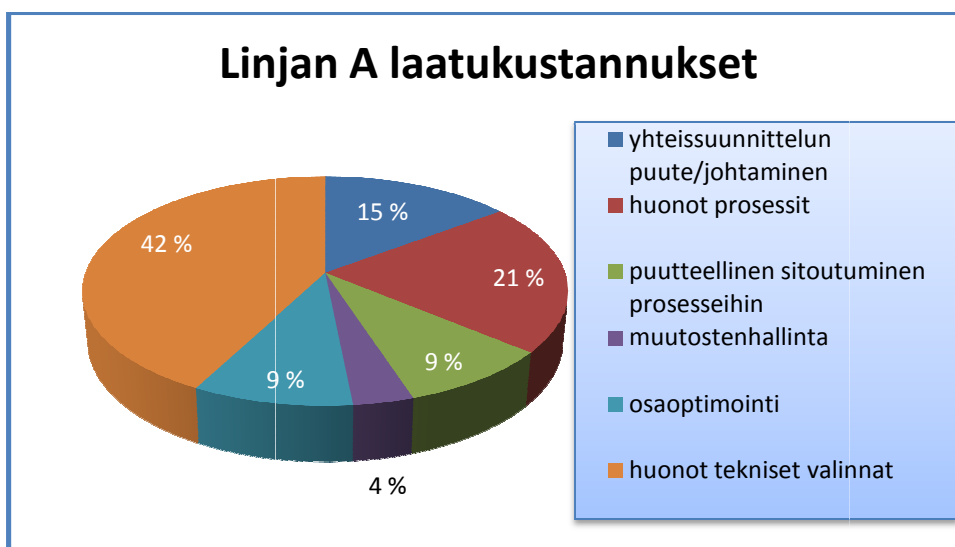
luvussa, missä laatukustannukset on jaoteltu niin sanottujen perimmäisten juurisyiden perusteella.

6.3.3 Kustannukset perimmäisten juurisyiden mukaisesti

Tässä luvussa laatukustannukset on jaoteltu työpajoissa selvitettyjen ”perimmäisten juurisyiden ” perusteella. Kaikki edellisen luvun ongelma-alueet ovat siis peräisin näistä syistä, kuten samoin myös kaikki tuotantolinjoilla havaitut virhetilanteet ovat seurausta näistä syistä. Parantamalla näitä osa-alueita, voidaan tuotannon virhetilanteita vähentää huomattavasti tai jopa poistaa pysyvästi. Kategorioiden sisältöön voi tutustua tarkemmin luvussa 6.2.5, tässä luvussa esitetään ainoastaan laskennan tulokset. Kustannukset on jaoteltu siis kuuteen kategoriaan kuvien 6.9 ja 6.10 mukaisesti: yhteissuunnittelun puute/johtaminen, huonot prosessit, puutteellinen sitoutuminen prosesseihin, muutostenhallinta, osaoptimointi, huonot tekniset valinnat.



Kuva 6.9. Linjan B laatukustannukset perimmäisten juurisyiden mukaisesti.



Kuva 6.10. Linjan A laatukustannukset perimmäisten juurisyiden mukaisesti.

Huonoilla prosesseilla näyttäisi olevan suuri vaikutus molempien linjojen laatukustannuksiin. Linjalla B ne muodostivat 38 % kaikista kustannuksista ja vastaavasti linjalla A kuvan 6.10 mukaisesti 21 %. Huonot prosessit tarkoittavat kaikkia niitä prosesseja, jotka eivät toteuta riittävän hyvin niille suunniteltua tehtävää. Prosesseihin ja niiden merkitykseen laadun parantamisessa voi tutustua tarkemmin luvussa 4.3.

Kaikkein suurimman ongelma-alueen – molemmat linjat huomioiden – muodostavat huonot tekniset valinnat. Tämän kategorian kustannukset ovat suurimmaksi osaksi peräisin erilliskaapeloinnin käytöstä ja sen synnyttämästä ylimääräisestä asennustyöstä sekä kytkentävirheistä. Linjalla A huonot tekniset valinnat ovat odotetusti linjaa B suuremmassa roolissa muodostaen 42 % kustannuksista. Ero johtuu siitä, että laitteissa A antureiden ja toimilaitteiden määrä on laitteita B suurempi. Linjalla B huonot tekniset valinnat muodostavat 28 % kaikista laatukustannuksista.

Osaoptimoinnilla tarkoitetaan sitä, kun osien hankintapäätökseen vaikuttaa ensisijaisesti niiden hankintahinta, eikä niiden soveltuvuus valittuun käyttötarkoitukseen. Halvempi komponentti voi ostohetkellä tuntua järkevältä ratkaisulta, mutta huonompi asennettavuus, käyttöikä sekä kestävyys voivat nostaa osan käytöstä aiheutuvia elinkaarikustannuksia huomattavasti. Vastaavista syistä taas hieman kalliimman osan kokonaiskustannukset voivat pidemmällä aikavälillä olla huomattavasti halvempaa osaa alhaisemmat. Osaoptimointi muodostaa linjalla A 9 % ja linjalla B 12 % kaikista laatukustannuksista. Vaikkei kustannusten suuruus näy välttämättä kovin suurena, osa tämän kategorian ongelmista hukkuu huonoihin teknisiin valintoihin.

Paljon tuotanto-ongelmia aiheuttaa myös puutteellinen sitoutuminen prosesseihin. Tämä tarkoittaa sitä, että hyvin määriteltyä ja yleisesti hyväksi todettua prosessia ei toteuteta sen määritelmän mukaisesti. Linjalla B puutteellinen sitoutuminen prosesseihin aiheuttaa 18 % laatukustannuksista ja linjalla A 9 %.

Muutostenhallinta on erittäin tärkeässä roolissa kaikissa nykyaikaisissa organisaatioissa. Liiketoiminnan täytyy nopeasti sopeutua jatkuvasti muuttuviin ulkoisiin tekijöihin, kuten teknologiakehitykseen, asiakastarpeiden muutokseen sekä markkina- ja kilpailutilanteiden muutoksiin. Vaikka muutostenhallinta näkyy linjojen laatukustannuksista vain pienenä osuutena (linja A: 4 % ja linja B: 2 %), ei sen merkitystä pidä väheksyä. Osan tämän kategorian kustannuksista näkyy huonojen prosessin laatukustannuksissa, koska muutostenhallinta on toteutettava toimivien prosessien kautta. Ilman ennalta suunniteltua prosessia, muutosten läpivieminen on työlästä, erittäin vaikeaa tai jopa mahdotonta.

Yhteissuunnittelun puutetta ja johtamisongelmia käsiteltiin tarkemmin luvussa 4. Samoin kuin muutostenhallinta, myös yhteissuunnittelu on elintärkeässä roolissa menestyvässä yrityksessä. Linjalla A tämän kategorian kustannukset näyttäisi olevan suuremmat

kuin linjalla B, muodostaen 15 % kaikista laatukustannuksista. Linjalla B vastaava luku on 2 %.

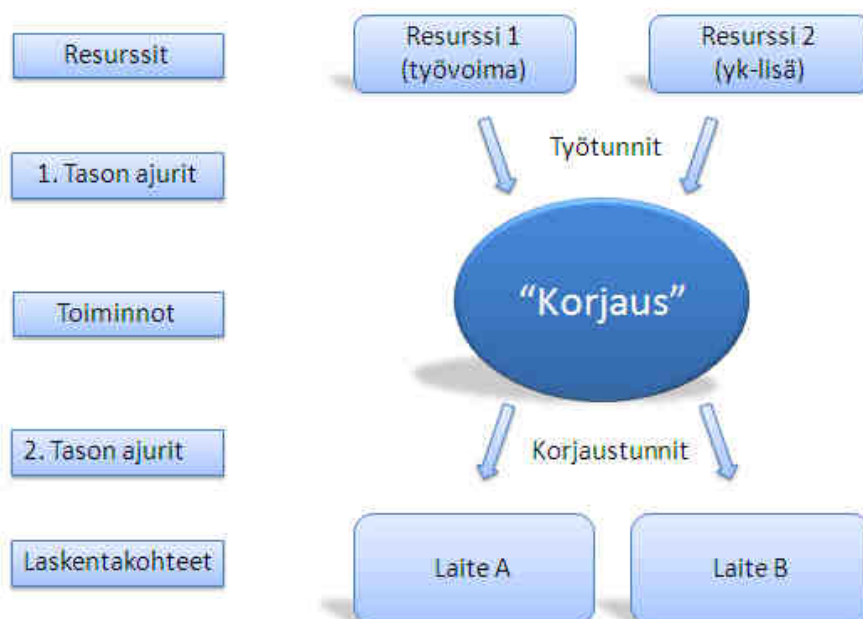
6.3.4 Kustannukset vuositasolla

Heti luvun alussa on syytä huomauttaa, että kaikki luvussa lasketut laatukustannukset esitetään prosentuaalisina osuuksina laitteiden ohjausjärjestelmien materiaalikustannuksista. Esitystavan tarkoitus on osoittaa, miten liiallinen keskittyminen materiaalikustannusten pienentämiseen vaikuttaa laitteiden todellisiin valmistuskustannuksiin.

Edellisessä luvussa laskettiin tuotannon suoria virhekustannuksia. Näihin tuloksiin sisältyi kaikki ne laatukustannukset, mitä työhön kerättyjen laatu-palautteiden perusteella on laskettu. Todellisuudessa tulokset eivät kuitenkaan kerro muuta, kuin miten kustannukset jakautuvat eri kategorioiden välillä. Heikosta laadunvalvonnasta johtuen suurin osa tuotannon laatuongelmista ei näy lasketuissa virhekustannuksissa. Tiedon keräys kohdistui kyllä hyvin laajalle alueelle, mutta palautteita saatiin silti niukasti. Laskelmiin on huomioitu ainoastaan PAFF-mallin (katso luku 5.2) sisäiset virhekustannukset, poissulkien laadunvalvonnan-, ennaltaehkäisy- sekä yrityksen ulkoiset virhekustannukset. Tässä luvussa laatuongelmien kustannusvaikutuksia tarkastellaan edellistä esitystapaa laajemmin. Luvun tarkoitus on vastata siihen, *kuinka paljon tuotannon laatuongelmat maksavat vuositasolla* ja mitkä ovat niiden *vaikutukset menetettyyn tuotantoon ja menettyihin myynteihin*.

Työn alkuperäinen tarkoitus oli tutkia ohjausjärjestelmän teknisten ratkaisujen vaikutusta tuotannon kustannuksiin. Tutkimusongelmaa oli tarkoitus lähestyä toimintoperusteisen kustannuslaskennan avulla. Tutkimuksen edetessä kuitenkin huomattiin, että laatu-palautteita oli saatavalla hyvin niukasti ja tästä johtuen iso osa tutkimuksen resursseista jouduttiin käyttämään laatu-tiedon keräämiseen. Toisaalta huomattiin myös se, että tuotantoprosessi oli jaettu vain hyvin karkeasti eri vaiheisiin, eikä riittävän tarkkaa toimintojakoa voitu tämän perusteella tehdä. Tarkka toiminta-analyysi sekä ABC:n mukainen laskentaprosessi ei olisi työn laajuuden kannalta ollut mahdollista, joten sen vuoksi toimintolaskentaa joudutaan soveltamaan tässä kappaleessa hyvin karkealla tasolla.

Toimintolaskentaa käsittelevällä teoriaosuudella on kuitenkin työn kannalta selkeä käyttötarkoitus, sillä kuten myöhemmin työn johtopäätöksissä huomataan, siirtyminen sen mukaiseen kustannuslaskentaan olisi tehokas työkalu tuotannon laatuongelmien vähentämiseen. Seuraavaksi sovelletaan toimintolaskentaa edellä lueteltujen rajoitteiden sallimalla tavalla. Laskenta etenee luvussa 3.4 esitetyn ABC:n käyttöönottoprosessin mukaisesti. Tässä luvussa laskenta etenee 6.11 mukaisesti.



Kuva 6.11. Seurantalaitteiden laatuksustannusten laskenta toimintolaskennan mukaisesti.

Toimintoanalyysiä ei laskennan karkeasta sovelluksesta johtuen tarvitse suorittaa. Tuotantoprosessi sisältää satoja eri toimintoja, mutta prosessit on jaettu hyvin karkealla tasolla liitteessä 1 esitettyihin vaiheisiin. Koska suurin osa työhön kerätyistä laatu palautteista on peräsin laitteiden loppukokoonpanosta, eikä loppukokoonpanoa ole jaettu pienempiin toimintoihin, joudutaan tässä yhteydessä tyytymään ainoastaan yhteen toimintoon. Kutsutaan tätä nimellä ”korjaus”. Tämä ”toiminto” sisältää molempien linjojen loppukokoonpanoissa tehdyn ylimääräisen, laatu puutteiden korjauksesta johtuvat työn.

Toiminta-analyysin jälkeen laskenta jatkuu kustannusajureiden määrittelyllä. Ensimmäisen tason ajurit määrittelevät sen, kuinka resurssit kohdistetaan toiminnoille. Tässä tapauksessa tuotanto käyttää ainoastaan kahta ”resurssia”, jotka nimettiin jo aiemmin luvussa 6.3 resursseiksi 1 ja 2. Ensimmäinen tarkoittaa siis työvoimaa ja toinen yleiskustannuslisää. Jälkimmäisen kohdalla ei kuitenkaan voida varsinaisesti puhua yhdestä resurssista, vaan kyseessä on pikemminkin resurssiallas, joka sisältää useita eri yleiskustannuslisään kuuluvia resursseja (katso luvun 6.3 johdanto). Resurssit 1 ja 2 kohdistetaan toiminnolle ”korjaus” *työtuntien suhteessa*. Korjaustoimintojen kustannukset voidaan laskea nyt kaavoilla 3 ja 4:

$$P_{korjaus}^A = R_1 + R_2^A \quad (3)$$

$$P_{korjaus}^B = R_1 + R_2^B \quad (4)$$

missä,

R_1 = työvoimakustannus

$$R_2^A = yk - \text{lisä, linja A}$$

$$R_2^B = yk - \text{lisä, linja B}$$

Resurssien kohdistuksen jälkeen toiminnot kohdistetaan halutuille tuotteille. Laskennan kohteina on kaksi tuotannon seurantalaitetta: laite A ja laite B, joiden kokonaishäiriöajat automaation ja sähkö osalta olivat:

$$T_{\text{laite A}} = 153 \text{ h (seurantalaitteen A häiriöaika)}$$

$$T_{\text{laite B}} = 18.53 \text{ h (seurantalaitteen B häiriöaika)}$$

Seurantalaitteiden laatukustannukset voidaan nyt laskea kertomalla niiden kokonaishäiriöaika toiminnon ”korjaus” tuntihinnalla kaavojen 5 ja 6 mukaisesti. Ylimääräistä, laatuongelmista aiheutuvia kustannuksia seuranta-ajalle syntyi siis:

$$T_{\text{laite A}} \times P_{\text{korjaus}}^A = C_{\text{laite A}} = \mathbf{10.7 \%} \quad (5)$$

$$T_{\text{laite B}} \times P_{\text{korjaus}}^B = C_{\text{laite B}} = \mathbf{6.3 \%} \quad (6)$$

missä:

$$C_{\text{laite A}} = \text{seurantalaitteen A virhekustannukset}$$

$$C_{\text{laite B}} = \text{seurantalaitteen B virhekustannukset}$$

Edellä esitetyn ABC:n mukaisen laskentaprosessin tarkoitus oli osoittaa lukijalle, kuinka toimintolaskentaa käytännössä sovelletaan. Sama laskenta olisi tässä työssä voitu tehdä hyvin yksinkertaisilla kertolaskuilla, mutta laskenta käytiin läpi esimerkin vuoksi.

Suorat vuosittaiset virhekustannukset

Yksittäisten laitteiden kustannukset edustavat vain pientä otosta laatuongelmien todellisista kustannusvaikutuksista. Niinpä seurantalaitteiden laatukustannusten perusteella tehdään *yleistys koko vuoden ajalle*. Vuosittaiset virhekustannukset saadaan kertomalla seurantalaitteiden laatukustannukset tuotantolinjojen vuosittaisilla tuotantovolyyymeilla kaavojen 7 ja 8 mukaisesti.

$$Vol_A \times C_{\text{laite A}} = C_{\text{annual}}^A = \mathbf{136 \%} \quad (7)$$

$$Vol_B \times C_{\text{laite B}} = C_{\text{annual}}^B = \mathbf{520 \%} \quad (8)$$

missä:

$$Vol_A = \text{Linjan A vuosittainen tuotantovolyyymi (2011)}$$

$$Vol_B = \text{Linjan B vuosittainen tuotantovolyyymi (2011)}$$

$$C_{\text{annual}}^A = \text{Linjan A vuosittaiset virhekustannukset}$$

$$C_{\text{annual}}^B = \text{Linjan B vuosittaiset virhekustannukset}$$

Laskennoissa on käytetty vuoden 2011 tuotantovolyymeja, jotka sisältävät valmiiden ja tilattujen laitteiden lisäksi vuoden ennusteet.

Laatuongelmista aiheutuvat tuotannonmenetykset

Edellä lasketut laatukustannukset edustavat seurantalaitteiden perusteella laskettuja suoria virhekustannuksia vuositasona. Jos ilmenneiden laatuongelmien korjauksiin kulunut häiriöaika käytettäisiin lisäarvoa tuottavaan työhön, pystyisi tuotantolinjat nostamaan vuosittaista tuotantovolyyymiaan. Tämä näkyisi lisääntyneinä tuottoina, kun oletetaan, että kaikki valmistetut laitteet menevät kaupaksi.

Jotta tuotannonmenetyksistä aiheutuvat laatukustannukset voidaan laskea, aluksi on selvitettävä se, kuinka paljon tuotantolinjoilla kuluu aikaa laatuongelmien korjauksiin vuositasona. Tämä voidaan laskea kaavoilla 9 ja 10, missä seurantalaitteiden häiriöajat kerrotaan vuosittaisilla tuotantovolyyymeilla.

$$T_{laite\ A} \times Vol_A = T_{linja\ A} \quad (9)$$

$$T_{laite\ B} \times Vol_B = T_{linja\ B} \quad (10)$$

missä:

$$T_{linja\ A} = \text{Linjan A vuosittainen kokonaishäiriöaika}$$

$$T_{linja\ B} = \text{Linjan B vuosittainen kokonaishäiriöaika}$$

Menetetyistä lattia-ajasta aiheutuvat tuotannonmenetykset voidaan laskea kaavoilla 11 ja 12, missä linjojen vuosittaisia häiriöaikoja verrataan työn vaihemallissa laskettuihin laitteiden kokonaisläpimenoaikoihin. Kaavat kertovat siis sen, kuinka monta laitetta jää valmistamatta vuositasona.

$$T_{linja\ A} \div T_{laite\ A}^{std} = Q_A \quad (11)$$

$$T_{linja\ B} \div T_{laite\ B}^{std} = Q_B \quad (12)$$

missä:

$$T_{laite\ A}^{std} = \text{laitteen A standardiläpimenoaika}$$

$$T_{laite\ B}^{std} = \text{laitteen B standardiläpimenoaika}$$

$$Q_A = \text{Linjan A vuosittainen tuotannonmenetys}$$

$$Q_B = \text{Linjan B vuosittainen tuotannonmenetys}$$

Menetetyistä lattia-ajasta aiheutuvat laatukustannukset voidaan laskea kertomalla tuotannonmenetykset (11) ja (12) laitteiden katteella. Laitteista saatavat myyntivoitot saadaan kaavoilla 13 ja 14, missä laitteiden myyntihinta kerrotaan niiden katetuottoprosentilla.

$$P_A \times \text{kate } A = K_A \quad (13)$$

$$P_B \times \text{kate } B = K_B \quad (14)$$

missä:

P_A = laitteen A myyntihinta

P_B = laitteen B myyntihinta

K_A = laitteen A myyntivoitto

K_B = laitteen B myyntivoitto

Menetetyn tuotannon kustannukset vuositasolla saadaan nyt kaavoista 15 ja 16.

$$C_{\text{menetetty tuotanto}}^A = K_A \times Q_A = \mathbf{542 \%} \quad (15)$$

$$C_{\text{menetetty tuotanto}}^B = K_B \times Q_B = \mathbf{1980 \%} \quad (16)$$

missä:

$C_{\text{menetetty tuotanto}}^A$ = linjan A menetetyn tuotannon vuosittaiset kustannukset

$C_{\text{menetetty tuotanto}}^B$ = linjan B menetetyn tuotannon vuosittaiset kustannukset

Äskeiset luvut kertovat siis sen, kuinka paljon tuottoja menetetään vuositasolla automaation ja sähköön laatuongelmien aiheuttaman työn hidastumisen vuoksi.

Arviot menetetystä myynnistä

Nykyisillä automaatio- ja instrumentointiratkaisuilla on vaikutusta myös myytyjen laitteiden lukumäärään. Myyntiorganisaation arvion mukaan *pitkistä toimitusajoista sekä korkeasta hinnasta johtuen laitteita A myydään arviolta 15 kappaletta vähemmän vuositasolla*. Kehittämällä luvuissa 6.2.4 ja 6.2.5 havaittuja laatu puutteita, laitteiden läpimenoaikaa voidaan lyhentää huomattavasti. Tämän seurauksena myös toimitusajat lyhenevät ja siten myös tuotantokustannukset tippuvat. Nopeamman toimituksen ja alentuneen hinnan kautta myös myyntimäärät nousevat. Menetetty myynti vaikuttaa myös huollettavien laitteiden lukumäärään ja siten vaikuttaa myös varaosamyyntiin.

Arvioita siitä, kuinka paljon nykyiset automaation ja sähköön laatu puutteet vaikuttavat menetettyihin myynteihin, voidaan tehdä tuotannon seurantalaitteiden perusteella. Luvussa 6.1 huomattiin, että noin 6 % linjan A seurantalaitteen läpimenoajasta koostui automaatioon ja sähköön liittyvien laatu puutteiden korjauksesta. Niinpä voidaan olettaa, että edellä mainittujen 15 laitteen menetetystä myynnistä noin 6 % aiheutuu automaation ja sähköön laatu puutteista. Yhden laitteen perusteella tehty yleistys voi tuntua liialliselta, mutta väitettä tukee vahvasti myös linjan B seurantalaitteen tulokset: läpimenoajasta noin 5 % muodostui sähkötöihin liittyvistä häiriötekijöistä. Tämän luvun laskelmissa käytetään kuitenkin 6 %, koska linjan B seurantalaitteen häiriöajoissa on otettu huomioon ainoastaan sähköasentajan tekemiin korjauksiin kulunut häiriöaika.

Menetettyjen myyntien vuosittaiset kustannukset saadaan kaavalla 17, missä laitteen A myyntivoitto – myyntihinnan ja valmistuskustannusten välinen erotus – kerrotaan menetettyjen myyntien lukumäärällä (15 kpl) ja edelleen äsken mainitulla 6 %:

$$C_{\text{menetetetty myynti}} = 15 \times K_A \times 0.06 \quad (17)$$

missä,

$$C_{\text{menetetetty myynti}} = \text{laatupuutteista aiheutuva vuosittainen menetetty myynti}$$

$$K_A = \text{laitteen A myyntivoitto}$$

Tästä saadaan, että automaation ja sähkön laatupuutteista aiheutuvan menetetyn myyntin laatuksustannus vuosittain on noin **629 %**.

6.4 Väyläongelmat

Yksi työn tavoitteista oli tutkia käytössä olevien instrumentointiratkaisujen vaikutusta tuotannon kustannuksiin. Edellisten lukujen tulosten perusteella *mikään ei viitannut siihen, että väylätekniikka itsessään aiheuttaisi ongelmia laitteiden tuotannossa*. Pikemminkin näytti siltä, suurin syy tuotannon ongelmiin oli *erillisjohdotuksen käyttö väylätekniikan sijaan*.

Laatukustannuslaskennan tulosten luotettavuuden varmistamiseksi väylätekniikkaan liittyviä ongelmia – tai pikemminkin niiden puuttumisen syitä – selvitettiin erikseen kirjallisten kyselyiden avulla. Kyselyitä lähetettiin sekä tuotannon että suunnittelun toimihenkilöille ja myös tutkimusosaston toimihenkilöille. Työn tuloksista poiketen, kyselyiden perusteella näyttäisi siltä että, myös *wäylätekniikan käyttöönnotto* on tuonut omat haasteensa laitteiden tuotantoon.

Selkeää vastausta siihen, miksi väyläongelmia ei havaittu lainkaan työhön kerätyissä lautupalautteissa, on vaikea antaa. Kyselyiden perusteella tyypillinen vastaus oli se, että tietyt ongelmat ovat jatkuneet jo niin kauan, että tuotantolinjan työntekijät ovat turhautuneet palautteiden kirjaamiseen, sillä se harvemmin johtaa korjaaviin toimenpiteisiin. Haastatteluiden perusteella selvisi myös se, että uusien ominaisuuksien kehittäminen ajaa vanhojen virheiden korjaamisen yli. Työnteon laatu on tästä syystä heikentynyt ja kyseiset virheet ovat ajan saatossa ikään kuin hyväksytty pakolliseksi osaksi tuotantoa. Näkymättömyyteen on voinut vaikuttaa myös se, että vaikka aiemmin väyläongelmia on kirjattu, ne on ratkottu suoraan tutkimus- sekä suunnitteluosaston kanssa, eivätkä ne siksi näy lautupalautteissa.

Kirjalliset kyselyt tukevat aiemmin luvussa 6.3.2 tehtyä johtopäätöstä: varsinaisesti itse väylätekniikkaan liittyviä ongelmia ei esiinny tuotannossa lainkaan. Väyläongelmiksi

mielletyt virhetilanteet liittyvät todellisuudessa yksittäisiin komponentteihin, eivätkä itse teknologiaan. Näitä virheitä on esitelty tarkemmin liitteessä 4.

6.4.1 Prototyyppien väyläongelmat

Kuten aiemmin todettiin, *väylätekniikan käyttöönottoon* on liittynyt ja liittyy edelleen tiettyjä ongelmia, jotka vaikeuttavat laitteiden tuotantoa. Näiden ongelmien selvitys aloitettiin prototyyppien aikana havaituista ongelmista. Vaikka prototyyppien tarkastelu onkin menneisyyteen katsomista, on lukijan hyvä ymmärtää, mitä ongelmia nykyiseen väylätekniikkaan on liittynyt. Liitteen 4 taulukkoon on listattu kyselyiden perusteella kriittisimmät ongelmat prototyyppien kehityksen ajalta siten, että ongelmien perään on arvioitu niihin kulunutta häiriöaika. Häiriöajat ovat tiedon tarkkuudesta johtuen vain arvioita, mutta antavat kuitenkin käsityksen niiden suuruusluokasta. Taulukkoon lasketut laatukustannukset on laskettu edellisten lukujen tapaan kaavalla 2 (luku 6.3) niin, että yk-lisänä on käytetty linjan A loppukokoonpanon mukaista yk-lisää.

Vaijeritoimisen lineaarianturin ongelmana oli väärä tiedonsiirtonopeus, joka ei ollut sallitulla vaihteluvälillä. Tämän seurauksena koko puomiväylän tietoliikenne estyi ajoittain, anturin asemasta riippuen. Anturin valmistaja ratkaisi ongelman parametrimuutoksella ja toimittamalla toimivan anturin.

Absoluuttiantureita on käytetty syöttöpalkin asema-antureina. Antureihin liittyi kyselyiden mukaan erinäisiä mekaanisia ja sähköisiä vikoja. Arvion mukaan näiden ongelmien selvittämiseen on prototyyppien kehityksen aikana kulunut vähintään 100 tuntia ylimääräistä työtä.

Puomin nivelten absoluuttianturit ovat rakenteeltaan avoimia CANopen resolveita. Pulttausnivelessä ei ole aikaisemmissa laitesukupolvissa ollut anturia ja siksi olemassa oleva rakenne ei suoraan soveltunut anturointiin. Mekaanista rakennetta ei kuitenkaan saanut muuttaa tiiviimmäksi avonaista resolveria varten. Jousivoima/ruuviiliittimiin liittyvät yleiset ongelmat johtuivat niiden liian heikoista rakenteista. Heikon rakenteen lisäksi liitosten kytkeminen vie paljon aikaa. Väyläjohtimia ei saa holkittaa, koska holkkit heikentävät signaalien laatua merkittävästi. Myöskään perinteisiä kaapelointi- ja suojausratkaisuja ei saanut kehittää.

Kyselyiden perusteella ylipitkiin väyliin ja niiden virheelliseen rakenteeseen liittyvät ongelmat johtuivat suunnittelun virheistä. Väyliä suunniteltaessa ei huolehdittu siitä, että käytetyn siirtonopeuden mukaisia maksimipituuksia ei ylitetä. Riviliittimien ja pitkien kytkentähaarojen (drop-line) käyttö sähkökoteloissa aiheuttivat väyläsignaaleihin heijastuksia, jotka häiritsivät tiedonsiirtoa tai pahimmillaan estivät sen. Tältä ongelmalta olisi kyselyiden mukaan välttytty käyttämällä suoraa M12-kytkentää kuvatus toteutustavan sijasta. Tämän seurauksena myös hyvin yleiset kytkentävirheet vähentyisivät huomattavasti.

Konfiguraatioiden hallinta tai pikemminkin sen puute on kyselyiden perusteella suurin yksittäinen ongelma-alue. Ylimääräistä työtä tästä johtuen on tehty todella paljon. Ongelmana on se, että järjestelmän konfiguraatioita ei suunnitella systemaattisesti, vaan niitä käsitellään solmukohtaisesti. Konfiguraation hallinta on tämän työn aihealueen ulkopuolella, mutta kiinnostuneet lukijat voivat tutustua siihen kirjallisuudesta (CiA-306-1, CiA-306-2, CiA-306-3, CiA-311, CiA-314.) Lisäksi kannattaa hyödyntää mahdollisimman paljon laiteprofiilien tarjoamia pakollisia oletusominaisuuksia ja muuten yleisesti tuettuja ominaisuuksia.

Kyselyiden perusteella jokaisen laitteen kanssa ylimääräistä työtä on arvioiden mukaan tehty noin 100 tuntia. Tämä lisäarvoa tuottamaton työ olisi voitu välttää *standardoitua suunnitteluprosessia noudattaen* (katso luku 2.3) sekä tiukemmalla *konfiguraatioiden sekä toimittajaketjun hallinnalla*. Isoimpina ongelmien aiheuttajina kyselyissä pidettiin *suunnittelun puutteellista laatua sekä riittämättömiä mahdollisuuksia tuotannon työntekijöiden koulutukseen sekä dokumentoinnin puutteita*.

Kun yllä olevia ongelmien juurisyitä verrataan luvussa 6.2 päädyttyihin johtopäätöksiin, huomataan mielenkiintoinen yhteensattuma: *prototyypin kehityksen aikaiset ongelmat ovat peräisin samoista juurisyistä, kuin nykyiset tuotannon ongelmat*. Tämä varmistaa sen, että laatupalautteiden perusteella tehdyt johtopäätökset ongelmien todellisista aiheuttajista ovat pääosin oikeita. Samoista juurisyistä johtuen ongelmat eivät rajoitu ainoastaan tarkasteltavien tuoteperheiden tuotantoon, vaan ne toistuvat kaikkialla tuotannossa laiteperheestä riippumatta.

Edellä esitetyt ongelmat liittyvät siis ainoastaan tarkasteltavan tuoteperheen prototyyppien kehityksen aikaisiin virheisiin, eikä niihin kulunutta häiriöaikaa ole syytä katsoa tämän vuoksi tarkasti. On selvää, että kehitystyön aikana virheitä esiintyy runsaasti ja tarkemmin ajateltuna se on myös toivottavaa. Se, että mahdollisimman moneen ongelmaan törmätään laitteiden kehityksen aikana, auttaa niiden välttämässä myöhemmin varsinaisessa sarjatuotantovaiheessa – olettaen että virheiden perusteella tehdään korjaavia toimenpiteitä. Prototyypin ajalta on varmasti opittu paljon asioita, mutta tiettyjä johtopäätöksiä jatkoon kannalta tehtiin kuitenkin pelkkien oireiden perusteella paneutumatta niiden taustalla oleviin juurisyihin. Kuten työn teoriaosuudessa todettiin (katso luku 5.5.3), *korjaaviin toimenpiteisiin ei ole syytä ryhtyä ilman, että ongelmien todelliset aiheuttajat on selvitetty*.

6.4.2 Venttiilivirheet

Väyläliitännäiset mobileventtiilit merkattiin jo aiemmin liitteessä 4 yhdeksi prototyyppien ongelma-alueeksi. Venttiilien ongelmat on eroteltu omaksi luvukseen, koska niihin on ajan saatossa liittynyt paljon erinäisiä ongelmia. Näitä ongelmia selvitettiin sähköpostiarkeistoita, joiden tulokset on purettu tähän lukuun tiiviiksi yhteenvedoksi. Tulosten

- Puutteellinen sitoutuminen valittuun integrointiteknologiaan
- Viallinen elektroniikkakomponentti esiohjausyksikössä
- Virhe esiohjausyksikön FW:ssa

Näistä virheistä ensimmäinen on peräisin tuotesuunnittelun ja kokoonpanon sisäisistä ongelmista sekä kaksi jälkimmäistä toimittajan ongelmista. Koska työ käsittelee sisäisiä virhekustannuksia, toimittajan ongelmia ei tässä yhteydessä tarkastella sen tarkemmin. Ensimmäisestä johtopäätöksestä voidaan jälleen huomata, että väylätekniikkaan liittyvät ongelmat ovat peräisin samasta juurisyystä, kuin prototyyppien kehityksen aikaiset virheet. Kyseessä on siis *puutteellinen sitoutuminen prosesseihin*, jonka seuraukset näkyvät myös tämän hetken tuotannossa (katso luku 6.2).

6.4.3 Sarjatuotannossa esiintyvät virheet

Edellä kuvattujen virheiden lisäksi kyselyissä tuli ilmi seuraavia merkittäviä ongelmia. Tarkemmin katsottuna nämäkään ongelmat eivät johdu itse väylätekniikasta, vaan jälleen kerran palataan samoihin juurisyihin, kuin luvussa 6.2.

- **Vialliset väyläkaapelit** hidastavat tuotantoa etenkin jos virhe havaitaan tuotantoprosessin loppuvaiheessa. Ongelman juurisyys on heikko alihankkijoiden laadunvalvonta, joka liittyy jo aiemmin esitettyyn tulokseen *huonoista prosesseista*.
- **Puutteellisesti testatut ohjelmistot.** Ongelma ei kuitenkaan kuulu tämän työn aihepiiriin, joten sitä ei tässä yhteydessä käsitellä tarkemmin.
- **Monimutkaisten toimintojen puutteelliset toimintokuvaukset.** Kuvauksia tarvitaan etenkin vianhakutilanteissa. Kyselyiden mukaan noin 80 % näistä viroista on virheellisiä kytkentöjä. Tämä ongelman juurisyys on *puutteellinen dokumentointi*.
- **Eri valmistajien komponenttien yhteensopivuus.** Ongelmana on komponenttien korvaaminen toisella ohjelmistojen ja parametrien hallintaongelmien vuoksi. Kyseessä on *suunnittelun virhe*. Ratkaisu tähän olisi CANopen laiteprofiilien mukaisten komponenttien käyttö ja hallintaprosessin hyödyntäminen komponenttien eroavaisuuksien hallintaan. (katso luku 2.3.6.)

Edellä esitetyt kohdat eivät varmasti ole ainoita sarjatuotannossa esiintyviä ongelmia, mutta kyselyiden perusteella ne ovat kaikkein ongelmallisimpia.

6.5 Yhteenveto

Laatukustannusten laskenta edellytti kattavaa tiedonkeräystä laitteiden tuotannosta (luku 6.1). Yhteensä laatupalautteita kerättiin noin 160 kpl, kaiken kaikkiaan noin 20 laittees-

ta. Tiedonkeruukanavina toimivat kirjalliset raportit ja kyselyt, tietojärjestelmät, tuotannon seurannat ja haastattelut.

Tuotannon ongelmien taustasyiden selvittämiseksi jokainen työhön kerätty laatupalaute käsiteltiin Toyotan käyttämän ”5 × miksi” -menetelmän avulla (luku 6.2.1). Menetelmää sovellettiin yhteensä kuudessa työpajassa, johon valittiin tuotannon toimihenkilöiden lisäksi kokeneita asentajia. Toyotan oppien mukaisesti jokaisen ongelman kohdalla kysyttiin mistä tämä ongelma johtuu? Mikä aiheuttaa tämän ongelman? Päättelyketjua jatkettiin aina niin kauan, kunnes ongelman todellinen juurisyy saatiin selville.

Kerätyt laatupalautteet jaoteltiin yhteensä kolmeen eri kokonaisuuteen, joista ensimmäinen perustui laatupalautteiden yhteydessä käytettyihin virhekoodeihin. Seuraavat kaksi jaottelua perustuivat työpajoissa selvitettyjen ongelmien taustalla oleviin juurisyihin (luku 6.2.2). Näistä ensimmäinen toi esille tuotannon ”teknisiä ongelma-alueita”, joita olivat: *erilliskaapelointi, komponentit, dokumentointi ja väylätekniikka*. Väylätekniikan ei kuitenkaan huomattu aiheuttavan lainkaan ongelmia laitteiden tuotannossa. Toinen jaottelu tehtiin niin sanottujen ”perimmäisten juurisyiden” mukaisesti, joita olivat: *huonot tekniset valinnat, yhteissuunnittelun puute ja johtaminen, huonot prosessit, puutteellinen sitoutuminen prosesseihin ja muutostenhallinta*. Jokainen jaotteluista tehtiin siis kaikesta siitä tietomassasta, mitä laatupalautteiden keräyksen tuloksena voitiin muodostaa. Syy siihen, miksi samat ongelmat jaoteltiin useaan eri kokonaisuuteen, oli se, että ongelmia haluttiin lähestyä mahdollisimman monesta eri näkökulmasta.

Laatukustannukset laskettiin laatuongelmien aiheuttamien häiriöaikojen perusteella. Aluksi kustannukset laskettiin käytössä olevien virhekoodien mukaisesti (luku 6.3.1). Tämän laskennan tarkoitus oli tutkia sitä, miten hyvin nämä virhekoodit palvelevat tuotannon seurantaa. Laskennan perusteella sekä linjalla A että linjalla B *eniten tuotannon ongelmia aiheuttivat väärät sähkökytkennät*. Niiden osuus automaation ja sähkön laatukustannuksista oli noin 43 %. Laskennan perustella huomattiin, että 15 eri virhekoodista laajalti hyödynnettiin vain kolmea, jotka keräsivät noin 60 % kaikista laatukustannuksista. Tämän perusteella voitiin päätellä, että virhekoodit eivät palvele riittävän hyvin tuotannon seurantaa.

Virhekoodien lisäksi laatukustannukset laskettiin sekä ensimmäisten- että perimmäisten juurisyiden kategorioille (luvut 6.3.2 ja 6.3.3). Ensimmäisiin juurisyihin perustuvan laskennan perusteella *noin 61 % kaikista automaation ja sähkön laatukustannuksista on peräisin erilliskaapeloinnista*. Perimmäisten juurisyiden perusteella *eniten laatukustannuksia aiheuttivat huonot tekniset valinnat sekä huonot prosessit*.

Laatukustannusten suuruus vuositason lailla laskettiin kahden seurantalaitteen perusteella (luku 6.3.4). Aluksi molemmille laskettiin niiden tuotannossa esiintyvien ongelmien kustannukset, jonka jälkeen ne kerrottiin molempien tuotantolinjojen vuosittaisilla tuo-

tantovolyyymeilla. Näin laskemalla saatiin tulos, jonka mukaan automaation ja sähkön laatupuutteiden *suorat vuosittaiset virhekustannukset ovat vähintään noin 478 %*. Jos laatuongelmien korjaukseen käytetty työaika olisi käytetty lisäarvoa tuottavaan työhön, voitaisiin linjojen vuosittaista tuotantovolyyymia nostaa. Tästä *tuotannon menetyksestä aiheutuvat vuosittaiset laatukustannukset olivat vähintään noin 1643 %*. Laatupuutteiden aiheuttamien pitkien toimitusaikojen sekä kalliiden tuotantokustannuksien vuoksi arvion mukaan noin 15 laitetta jää myymättä vuositasolla. *Menetetyistä myynneistä aiheutuvat laatukustannukset olivat vähintään noin 629 %*. Taulukosta 6.5 nähdään, että ***kokonaisuudessaan automaation ja sähkön aiheuttamat laatukustannukset vuositasolla ovat siis vähintään 2750 % laitteiden ohjausjärjestelmien materiaalikustannuksista.***

Taulukko 6.5. Yhteenvedo tarkasteltavien laitteiden vuosittaisista laatukustannuksista. (Luvut on suhteutettu laitteiden ohjausjärjestelmien materiaalikustannuksiin).

Laatukustannukset vuositasolla	Yhteensä
Suorat virhekustannukset	478 %
Menetetyn tuotannon laatukustannukset	1643 %
Menetetyn myynnin laatukustannukset	629 %
Yhteensä	2750 %

Laatukustannuslaskennan tulosten perusteella huomattiin, että väylätekniikka ei aiheuttanut lainkaan ongelmia tuotannossa. Asia haluttiin kuitenkin varmistaa erikseen tehdyillä kirjallisilla kyselyillä ja haastatteluilla. Tietoa kerättiin niin talon sisältä kuin myös alihankkijalta. Keräyksen perusteella huomattiin, että myös väylätekniikan käyttöönottoon on liittynyt erinäisiä ongelmia varsinkin prototyyppien kehityksen aikana (luku 6.4). Kun näitä ongelmia tarkasteltiin hieman syvemmin, havaittiin kuitenkin että: *prototyyppien aikaiset väyläongelmat ovat peräisin samoista juurisyistä, mistä myös nykyiset tuotannon ongelmat johtuvat*. Prototyyppien ongelmien lisäksi väylätekniikan vaikutuksia nykyiseen tuotantoon selvitettiin sähköpostikyselyiden avulla. Kyselyiden perusteella huomattiin, että aiemmin tehdyn laatukustannuslaskennan tulokset pitävät paikkaansa: *wäylätekniikka ei itsessään aiheuta ongelmia tuotannossa.*

7 TÄRKEIMPIÄ KEHITYSKOhteITA

Tässä luvussa esitellään tärkeimpiä kehityskohteita laatu puutteiden korjaamiseksi. Niiden nimeäminen ja priorisointi on varsin suoraviivaista: *tärkeintä on poistaa ne ongelma-alueet, jotka aiheuttavat eniten laatu kustannuksia tuotannossa*. Kaikki kehityskohteet eivät kuitenkaan ole työmäärältään tai vaadituilta resursseiltaan tasavertaisia: osa ongelmista on laajempia ja siksi niiden kehittäminen on hankalampaa ja kestää kauemmin. Luku etenee kuitenkin niin, että kaikkein suoraviivaisimmat ja eniten taloudellista hyötyä tuovat kohteet nimetään ensimmäiseksi. Lukuun on laskettu myös arvioita siitä, kuinka paljon kyseinen parannus toisi kustannussäästöjä vuositasolla. On kuitenkin huomattava, että esitetyt laskelmat tarjoavat vain arvioita niiden suuruusluokasta.

7.1 Kaapeloinnin kehittäminen

Luvun 6.3.2 laatu kustannuslaskennan tulosten perusteella ylivoimaisesti eniten tuotannon ongelmia aiheutti *erilliskaapelointi*. Sen osuus työhön lasketuista suorista virhekustannuksista oli noin 61 %. Yksi erilliskaapeloinnin haittavaikutuksista on suuresta kaapelimäärästä aiheutuvat sähkörasiakokoonpanojen sisäiset sekä ulkoiset kytkentävirheet. *Väärät sähkökytkennät (koodi-340) muodostivat 43 % kaikista virhekoodeihin liittyvistä laatu kustannuksista* (katso luku 6.3.1), joista 56 % oli sisäisiä ja 27 % ulkoisia kytkentävirheitä. Ahola (s. 46) päätyi vuonna 2009 tekemässään tutkimuksessa lähes identtiseen tulokseen: noin 42 % tuotannon ongelmista on peräisin sähkökaapeleiden kytkentävirheistä.

Erilliskaapeloinnin negatiivisia kustannusvaikutuksia tukevat vahvasti myös tutkimuksen haastattelut. Sähkö tarkastajien mukaan suurimmat *ongelmat tuotannossa ovat peräisin sähkörasiakokoonpanojen sisäisiin sekä ulkoisiin johdotuksiin liittyvistä kytkentävirheistä*. Kytkentätyössä kaapelit täytyy kuoria ja asentaa täsmälleen oikeaan liitäntään. Mutta koska liitännät ovat samannäköisiä, sijaitsevat hyvin lähellä toisiaan ja niitä on lukuisia, on selvää, että virheitä ei voida välttää. Ongelmana kytkentävirheissä on se, että ilman riittävää testausta, ne havaitaan vasta tuotantoprosessin loppupäässä, jolloin vian havaitseminen ja kytkentöjen korjaaminen on erittäin työlästä.

Kysymys kuuluu siis, kuinka nämä virheet voidaan välttää? Nykyisillä instrumentointiratkaisuilla tuotannon alkupään testausta tulisi lisätä huomattavasti, jotta virheet havaittaisiin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tuotantoprosessia. Ongelma on kuitenkin se, että vaikka sähkörasiakokoonpanojen sisäiset kytkennät – ohjelmoitavien logiikoiden ja riviliittimien välillä – on mahdollista testata jo ennen loppukokoonpanoa, ulkoisten

kytkentöjen – toimilaitteilta ja antureilta riviliittimille – testaus ei ole mahdollista, sillä ne tehdään vasta loppukoonpanon aikana. Niinpä testaus on näiden osalta mahdollista vasta kun laitteen kokoonpano valmis ja tästä syystä tehdyt kytkentävirheet havaitaan vasta tuotantoprosessin loppupäässä eli sähkötarkastuksessa tai säädös-/kalibroinnissa. Tällä on erittäin suuri negatiivinen vaikutus laitteiden läpimenoaikaan (katso johdanto kuvat 1.1–1.3). Virheiden löytymisajankohdasta täytyy myös muistaa se, että mitä myöhemmässä vaiheessa ne havaitaan, sitä suuremmaksi muodostuu niistä aiheutuvat kustannukset (katso kuva 5.2). Tällä hetkellä sähkörasiakokoonpanojen sisäisiä kytkentä ei linjalla A testata lainkaan. Linjalla B tilanne on kuitenkin parempi, sillä kokoonpanoja toimittava alihankkija testaa ne ennen tuotantoon vientiä.

Sähkökytkentöjen testaus ei kuitenkaan poista alkuperäistä ongelmaa eli sitä, *miten ihmisten kytkentävirheiden syntyminen voidaan alun perin estää*. Seuraavaksi käsitellään kolme askelta, jotka auttaisivat virheiden lukumäärään vähentämisessä. Jokaisen askeleen kohdalle on myös arvioitu sen tuomia kustannussäästöjä.

7.1.1 Ensimmäinen askel

Ongelmana sähkörasiakokoonpanojen ulkoisissa – ja myös sisäisissä – kytkennöissä on niiden monimutkaisuus. Kuten edellä todettiin, asennus vaatii jatkuvaa tarkkuutta eikä kytkentävirheitä voida tästä syystä pitkällä aikavälillä välttää. Ulkoisten kytkentävirheiden syntymistä voidaan vähentää huomattavasti *korvaamalla holkkitiivisteet liittimillä ja niiden avulla kytkettävillä anturi- ja toimilaittekaapeleilla*.

Sen lisäksi, että sähkörasiakokoonpanojen ulkopuolella sijaitseva standardoitu liitinrajapinta *nopeuttaa kytkentätöitä, vähentää se siis huomattavasti myös ulkoisten kytkentävirheiden syntymistä*. Tämä johtuu asennuksen yksinkertaisuudesta: standardiliitin on nopea ja yksinkertainen asentaa verrattuna yksittäisten johtimien kytkemiseen. Samasta syystä myös jäljelle jääneiden ulkoisten *kytkentävirheiden korjaus nopeutuu huomattavasti*.

Holkkitiivisteiden korvaus standardiliittimillä siirtää osan ulkoisista kytkennöistä sähkörasiakokoonpanojen sisällä tehtäviin kytkentöihin kokonaiskytkentämäärän säilyessä kuitenkin samana. Jotta sisäiset kytkentävirheet havaittaisiin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tuotantoprosessia, on ne testattava ennen loppukokoonpanoa. Standardiliittimet eivät kuitenkaan poista tätä testausongelmaa. Vaikkakin testaus helpottuisi yhtenäisen liitinrajapinnan ansiosta, ei se ratkaise kaikkia siihen liittyviä ongelmia. Tämä taas edellyttää mittavia investointeja sisäisten kytkentöjen testaukseen, koska sovellusohjelmointavan laitteen (PLC) sovellus ja sen konfiguraatiot vaikuttavat liittimien signaalipinien käyttöön. Huomattavana etuna on kuitenkin se, että *sähkörasiakokoonpanojen sisäiset kytkentävirheet poistuvat loppukokoonpanosta*, sillä ne havaitaan jo osakokoonpanossa tai alihankkijalla.

Edellä esitetyn ratkaisun tuomia vuosittaisia kustannussäästöjä voidaan arvioida suhteuttamalla erilliskaapeloinnin sekä edelleen sähkörasiakokoonpanojen ulkoisten ja sisäisten kytkentävirheiden osuutta vuosittaisiin laatukustannuksiin. Kuten luvun 6.3.1 tuloksista huomattiin, erilliskaapelointi aiheutti noin 61 % kaikista tarkasteltavan tuoteperheen laatukustannuksista. Samoin luvussa 6.3.2 huomattiin, että näistä kustannuksista noin 59 % oli peräisin sähkörasiakokoonpanojen sisäisistä kytkennöistä sekä 27 % ulkoisista kytkennöistä. Kirjoittajan oman varovaisen arvion mukaan holkkitiivisteiden korvaaminen standardiliittimillä poistaa vähintään kolme neljäsosaa (75 %) ulkoisten kytkentävirheiden vaikutuksista sekä kokonaan sisäiset kytkentävirheet loppukokoonpanosta. Niinpä **vuosittaiseksi kustannussäästökseksi saadaan vähintään 1330 %**. Täytyy kuitenkin muistaa, että testauksen vaatimat investoinnit pienentävät saavutettua hyötyä.

Äskeisen ratkaisun tuomia materiaalisäästöjä voidaan arvioida tutkimusosastolla tehdyn kustannuslaskennan perusteella. Tässä laskennassa on vertailtu nykyisen koripuomin automaatiokomponenttien yhteishintaa parempien ratkaisujen yhteishintaan. Oletetaan jatkossa, että nykyisen koripuomin materiaalikustannukset ovat yhteensä 100 %, mikä muodostuu kahdesta sähkörasiakokoonpanosta, yhdestä HMI-yksiköstä sekä kolmesta suoraan väylään kytkettävästä venttiilistä. Ensimmäisessä kehitysaskeleessa nämä materiaalikustannukset pysyisivät samana tai lisääntyisivät hieman (3.5 %) holkkitiivisteitä kalliimpien M12-liittimien ansioista.

7.1.2 Toinen askel

Vaikka edellinen kehitysaskel toi mittavia kustannussäästöjä, edellyttää se huomattavia investointeja testaukseen sähkörasiakokoonpanojen osalta. Standardiliittimet nopeuttavat tuotantoa, mutta ongelmaksi jää sähkörasiakokoonpanojen sisäisten kytkentöjen suuri määrä. KytKentävirheitä syntyy edelleen runsaasti, mutta ne voidaan onneksi havaita ennen loppukokoonpanoa. Ongelma voidaan ratkaista *korvaamalla sähkörasiakokoonpanot CANopen liitäntäyksiköillä*. Tässä toteutustavassa *sähkörasiakokoonpanot sekä niiden sisäiset kytkennät poistuvat kokonaan*, jolloin ohjelmoitavan logiikan ja CANopen liitäntäyksikön välillä on ainoastaan yksi väyläkaapeli. Täytyy kuitenkin huomata se, että edellä esitettyjen ratkaisujen käytännön toteuttaminen on työlästä, koska nykyiset kokoonpanot on suunniteltu sovelluskohtaisiksi, eivätkä I/O-laiteprofiilin mukaisiksi (CiA-401). Tämä taas aiheuttaa todennäköisesti muutostarpeita myös ohjaukseen sovelluksiin.

Tuotantoprosessin alkupään testauksen tärkeyttä on painotettu voimakkaasti monissa yhteyksissä. Asiaa on tutkittu hyvin laajasti (esimerkiksi Aho 2009, Virtanen 2009) ja samoin myös tutkimuksen haastatteluissa se tuotiin monesti esille. Merkittävä lopputulos tässä kehitysaskeleessa on kuitenkin se, *että sisäisten kytkentöjen poistuttua, myös niihin kohdistuva testaustarve poistuu*. Kun sähkörasiakokoonpanoja ei ole, ei niitä myöskään tarvitse testata.

Näiden kokoonpanojen poistuttua ohjausjärjestelmän rakenne muuttuu yksinkertaisemmaksi, jolloin myös virhealttiiden toteutusten määrä vähenee. Edelleen kuitenkin antureilta ja toimilaitteilta CANopen liitäntäyksikölle menevissä kytkennöissä kytkentävirheitä voi syntyä, joten arvion mukaan *noin yksi neljäsosa (25 %) ulkoisten kytkentöjen laatuksista jää jäljelle*. Kytkentöjen testaus kuitenkin helpottuu, sillä CANopen liitäntäyksikön sisäinen rakenne vakioi testattavat ominaisuudet, toisin kuin ensimmäisen vaiheen ratkaisussa, missä ei ollut yhdenmukaisia toteutuksia. Toisin sanoen testattavien kombinaatioiden määrä vähenee ja virheiden korjaus nopeutuu huomattavasti standardinmukaisen liitinrajapinnan ja kaapelointijärjestelmän ansiosta.

Säästöjä materiaalikustannuksissa voidaan arvioida ensimmäisen kehitysaskelen kohdalla käsitellyn koripuumiesimerkin avulla. Nykyiseen ratkaisuun verrattuna kustannukset vähenevät noin 28 %, missä uuden ratkaisun hinta muodostuisi yhdestä HMI-yksiköstä, kolmesta väyläventtiilistä, yhdestä I/O-yksiköstä ja yhdestä PC:stä.

Nykyiseen ratkaisuun verrattuna tässä kehitysaskellessa: sisäisten kytkentävirheiden laatuksennukset poistuvat (säästö 990 %), ulkoisten kytkentävirheiden laatuksennukset vähenevät 75 % (säästö 340 %), materiaalikustannukset vähenevät sekä testaukseen vaadittavat investoinnit poistuisivat. ***Vuosittainen kokonaissäästö on vähintään 1330 %.***

7.1.3 Kolmas askel

Edellisessä ratkaisussa jäljelle jäi noin yksi neljäsosa (25 %) ulkoisiin kytkentöihin liittyvistä kytkentävirheistä. Kolmannessa kehitysvaiheessa *analogialiitännäiset anturit sekä toimilaitteet korvataan väyläliitännäisillä versioilla, jolloin ulkoista kaapelointia voidaan vähentää merkittävästi*. Johdotuksen määrän vähennyttä murto-osaan nykyisestä, myös niiden *testaustarve pääosin häviää*. Lisäksi järjestelmän virteenhallinta parantuu, sillä erillisjohdotuksen kytkentävirheet voidaan havaita ainoastaan yleismittarin avulla, toisin kuin väyläkaapeleissa, missä vika voidaan lähes aina paikantaa suoraan koneen ohjausjärjestelmän perusominaisuuksia hyödyntäen. Tämä edellyttää kuitenkin kattavan järjestelmänvalvonnan toteuttamista laitteen sovellusohjelmistoon. Tässä yhteydessä täytyy kuitenkin muistaa se, että laitteen sisäinen diagnostiikkaa tarvitaan riippumatta siitä, mitä kaapelointiratkaisua käytetään.

Erilliskaapeloinnin vähennyttä kytkentävirheiden määrä vähenee merkittävästi. Lisäksi kytkentätyö ei myöskään vaadi ulkopuolisia työkaluja, sillä standardiliittimet voidaan asentaa käsin. Etuna analogiamittausten ja -ohjausten muuntamisessa väyläpohjaisiksi on myös se, että järjestelmän integrointiin sekä konfiguraatioiden hallintaongelmiin liittyvät virheet voidaan minimoida muun muassa luvussa 2.3 esitellyn CANopen hallintaprosessin avulla. Tämä kehitysvaihe saattaa kuitenkin vaatia mittavia arkkitehtuuritason muutoksia. Nykyiseen ratkaisuun verrattuna ***vuosittaiset kustannussäästöt ovat kuitenkin vähintään 1443 % (katso taulukko 7.1).***

Kolmannen kehitysaskeleen vaikutuksia materiaalikustannuksiin voidaan arvioida jälleen edellisen koripuumiesimerkin avulla. Tässä ratkaisussa kustannukset laskevat noin 35 %, missä uuden ratkaisun hinta muodostuu yhdestä HMI-yksiköstä, seitsemästä väyläventtiilistä ja yhdestä PC:stä.

7.2 Tuotannon dokumentoinnin kehittäminen

Luvun 6.3.2 tulosten perusteella toiseksi eniten tuotannon laatupuutteita aiheutti heikko dokumentoinnin taso, noin 20 % osuudella työhön lasketuista laatukustannuksista. Dokumentoinnin vaikutus työn sujuvuuteen on merkittävä, sillä *epäselvät työohjeet, puuttuvat, väärä tai virheelliset kuvat sekä asennuskaaviot* hidastavat laitteiden kokoonpanoa varsinkin uusien työntekijöiden kohdalla. Monesti asennukseen tarvittava tieto ja osaaminen kulkevat perimätietona ja usein asennustapa vaihtelee runsaasti eri asentajien välillä. *Koko tuotantoprosessi on tästä syystä epäyhtenäinen.* Kokeneilla työntekijöillä heikko dokumentaatio ei hidasta työntekoa merkittävästi, mutta ongelmaksi muodostuu uusien työntekijöiden sopeuttaminen. Ilman selkeitä työohjeita uudet työntekijät joutuvat jatkuvasti kyselemään kokeneimmilta asentajilta apua ja monesti ammattitaito opitaan ainoastaan virheitä tekemällä ja niistä oppimalla. *Tämä näkyy negatiivisesti tuotteiden laadussa ja laitteiden läpimenoajoissa.*

Haastatteluiden perusteella dokumentoinnin puutteet ovat niin yleisiä, ettei niistä enää raportoida esimiehille. Asentajien mukaan ongelmien kanssa on opittu työskentelemään ja kuten muidenkin laatupuutteiden kohdalla, ne on hyväksytty pakolliseksi osaksi tuotantoa. Asentajien mukaan tuotannon dokumentaation taso on niin heikko, että ilman kokemuksen tuomaa ammattitaitoa laitteiden kokoonpano ei ole mahdollista. Koska samat, talon sisäiset dokumentit toimivat myös loppuasiakkaiden huolto-oppaina, vaikeuttaa tämä merkittävästi myös huoltotoimenpiteitä. Usein huolto-olosuhteet ovat reilusti tuotanto-olosuhteita haastavammat, mikä entisestään korostaa dokumentoinnin puutteita. Kuinka suureksi muodostuvat tästä aiheutuvat laatukustannukset, kun huomioidaan huoltoon kulunut aika, asiakkaan tuotannon menetykset tai esimerkiksi laaduttomuudesta aiheutuva maineen menetys?

Sen lisäksi, että dokumentoinnin puutteet vaikeuttavat tuotannon lisäksi huoltoa, voivat ne aiheuttaa ongelmia myös laitteiden turvallisuudessa. ISO-9001-standardi määrittelee dokumentoinnin vaatimuksia, joten henkilövahinkojen sattuessa monen muun seikan lisäksi myös dokumentoinnin taso tullaan tarkastamaan. Jos se kuitenkin poikkeaa oleellisesti ISO-9001-sertifikaatin edellytyksistä, voi tämä johtaa laajempaan tutkintaan.

Eräs merkittävä dokumentoinnin laatua heikentävä seikka on *dokumentoinnin hajanaisuus: niitä on lukuisia, eivätkä eri dokumentit ole keskenään yhdenmukaisia.* Tehdyt muutokset eivät päivitty kaikkialle, vaan esimerkiksi tuotannossa yhdestä dokumentista

voi olla käytössä useita eri versioita. Niinpä dokumentoinnin *määrän lisäämisen sijasta tulisi keskittyä niiden laadun parantamiseen sekä yhtenäistämiseen.*

Haastatteluissa dokumentointiin liittyvissä ongelmissa vedottiin resurssipulaan: niiden päivittäminen on työlästä, eivätkä nykyiset resurssit ole riittävät sen ylläpitoon. Dokumentoinnin ongelmat ovat kuitenkin niin monitahoisia, ettei niiden korjaamiseen löydy yksinkertaista, nopeasti toteutettavaa ratkaisua. Aihe ei myöskään kuulu syvällisemmin tämän tutkimuksen aihepiiriin, joten sen tarkempia toimenpidesuosituksia ei tässä yhteydessä nimetä. Asiaa kuitenkin tutkitaan ja kehitetään muun muassa Semogen projekteissa, johon voi tutustua tarkemmin osoitteessa: <https://wiki.tut.fi/SmartSimulators/Semogen>.

Samassa yhteydessä täytyy kuitenkin huomata se, että äskeisessä luvussa esiteltyt *kaapelointiratkaisut helpottavat myös dokumentoinnin ongelmissa*, sillä vähemmästä kaapelimäärästä johtuen myös sähkö- ja automaatiokuvista muodostuu yksinkertaisempia.

7.3 Komponenttien laadun kehittäminen

Kolmanneksi eniten tuotannon ongelmia aiheutti komponentteihin liittyvä laaduttomuus. Niiden osuus työhön lasketuista laatuksistuksista oli noin 19 %. Komponenttien ongelmat voidaan jakaa kuuteen kategoriaan: vääränlaiset sähkörasiakokoonpanot, vialliset anturit, vialliset valmiskaapelit, vialliset toimilaitteet, väärät tai virheelliset komponentit sekä muut.

Väärillä tai virheellisillä komponenteilla tarkoitetaan niitä, jotka eivät sovellu niille suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Kyseessä voi olla esimerkiksi komponentti, jonka hankintaan on ensisijaisesti vaikuttanut sen ostohinta, eikä esimerkiksi sen kestävyys, luotettavuus tai muut ominaisuudet. Joissain tapauksissa kyse taas oli siitä, että komponentti oli vaihtunut, mutta asiasta ei ollut ilmoitettu toimittajalle. Ajoittain taas ongelmana oli se, että varastosta tilattu komponentti oli väärä huolimatta siitä, että komponentti oli tilattu oikealla id-koodilla. Molemmissa *tapauksessa kyse on siis heikosta tiedonkulusta eri toimijoiden välillä*. Väärien ja virheellisten komponenttien osuus olikin noin 30 % kaikista komponenttien laatuksistuksista.

Toinen huomiota herättävä seikka oli vialliset valmiskaapelit, joiden laaduttomuus tuotiin esille myös väylävirheitä käsittelevissä kirjallisissa kyselyissä. Se että viallisia valmiskaapeleita päätyy tuotantoon asti, viestii se *heikosta alihankkijoiden laadunvalvonnasta*. Tavarantoimittajan vastuuta tulisi korostaa heidän toimittamien tuotteiden laadun varmistamisessa. Viallisten komponenttien kohdalla täytyy muistaa myös se tosiasia, että niiden vaikutukset eivät näy ainoastaan komponenttien hinnasta syntyvänä menetyksenä, vaan myös hukkamateriaalin aiheuttamana jäteongelmana ja erityisesti ongelmajätteeksi luokiteltujen elektroniikkakomponenttien ympäristövaikutuksina.

Vääränlaisilla sähkörasiakokoonpanoilla tarkoitetaan niiden sopimattomuutta valittuun käyttötarkoitukseen tai sitä, että tämä tuoterakenne sisältää vääriä komponenttiversioita. *Nykyisten ratkaisujen taustalla on heikko suunnittelu*, jonka vaikutukset huomattiin jo edellisessä luvussa, missä esitellyn kolmen kehitysaskelen tuloksena automaatiokomponentteja sisältävät sähkörasiakokoonpanot voitiin poistaa lähes kokonaan laitteiden ohjausjärjestelmistä. Vääränlaisten kotelorakenteiden pieni osuus komponenttien laatu- kustannuksista selittyy sillä, että suurin osa tähän kategoriaan kuuluvista kustannuksista sisältyi rasioiden sisäisiin kytkentävirheisiin.

Vialliset anturit muodostivat vain pienen osan komponenttien laatu- kustannuksista. Usein kyse olikin yksittäisistä virheistä, joten tarkkoja, ongelmien taustalla olevia juurisyitä on vaikea selvittää. Osa antureista voi olla rikkoutunut tuotannon aikana tai osassa voi olla valmistusvirhe. Loput komponenttien laatu- ongelmista eivät liittyneet mihinkään edellä luetelluista kategorioista, vaan kyseessä olivat satunnaiset virheet. Tämän kategorian osuus kaikista komponenttien laatu- kustannuksista oli 46 %.

Kuten edellä kirjoitetut kuvaukset kertovat, komponentteihin liittyviin laatu- puutteisiin johtavat ongelmat ovat niin moninaisia, että yksittäisiä kehitysratkaisuja on vaikea antaa. Tästä on esimerkkinä myös luvussa 6.4.2 käsitelty väyläliitännäisen venttiilin häiriökartta: yksittäisen komponentin laaduttomuus voi olla peräisin useista erinäisistä syistä – myös virheellisestä käytöstä. Tärkeimpinä kehityskohteina voidaan kuitenkin mainita *tiedonkulun parantaminen, alihankkijoiden laadunvarmistus, suunnittelukäytäntöjen kehittäminen*.

Lisäksi on pyrittävä hyödyntämään enemmissä määrin valmiita kaupallisia komponentteja. Tästä on esimerkkinä CANopen liitäntäyksikön käyttö nykyisten sähkörasiakokoonpanojen sijasta. Valmiiden hyllytavaroiden hyödyntäminen helpottaa myös testausta, joka sisältyy jo valmiiksi hankintahintaan. Tätä kautta komponenttien laatu- virheet havaitaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tuotantoprosessia. Täytyy myös muistaa, että toimittajan volyymin kasvettua, testauksen ja komponenttien yksikkökustannukset laskevat.

7.4 Kokonaisvaltainen laadun kehittäminen

Edellisissä luvuissa (7.1 – 7.3) nimettiin muutamia konkreettisia kehityskohteita, joita kehittämällä aikaansaadaan välittömiä kustannussäästöjä. Nämä *tuotannon laatu- puutteet (kaapelointi, dokumentointi, komponentit) ovat kuitenkin seurausta laajemmista, ylemmän tason laatu- ongelmista*. Niiden kehittäminen ei ole yksinkertaista, sillä monesti tuotannossa esiintyvien virheiden taustalta löytyy useita, laaja-alaista ongelmia. Niinpä luvun 6.2.1 juurisyysanalyysin avulla asiaa pyrittiin lähestymään mahdollisimman mo-

nesta eri näkökulmasta. Työpajoissa selvisi, että kaikki laatupalautteissa ilmenneet ongelmat ovat peräisin seuraavista ongelma-alueista:

- Huonot tekniset valinnat
- Yhteissuunnittelun puute/johtaminen
- Huonot prosessit
- Puutteellinen sitoutuminen prosesseihin
- Muutostenhallinta
- Osaoptimointi

Näitä kategorioita tarkastelemalla huomataan, että ongelmat ovat itse asiassa hyvin perinteisiä laadunhallintaan liittyviä osa-alueita. Kokonaisvaltaisen laatujohtamisen (TQM, Total Quality Management) peruseräkkeisiin kuuluvat muun muassa: prosessikeskeisyys ja prosessien kehittäminen, eri osastojen välinen yhteistyö, jatkuvan muutoksen hallinta ja siihen varautuminen, asiakastarpeiden ja vaatimusten huomioiminen, koko organisaation yhteistoiminta ja johdon vastuu laadusta. Lisäksi TQM lähtee ajatuksesta, jonka mukaan *huonon laadun kustannukset ovat niin suuret, että on parempi tehdä asiat heti ensimmäisellä kerralla oikein. Laatuvirheiden korjaamisen sijasta tulisi siis keksittyä virheiden syiden poistamiseen.* TQM:n mukaan työntekijät välittävät luonnostaan työnsä laadusta ja ovat valmiita kehittämään laatua, jos järjestelmä sen sallii. Tämäkin seikka on tullut useasti esille tämän tutkimuksen aikana: linjatyöntekijät haluavat parannuksia tuotannon ongelmiin, mutta usein heidän kehitysesityksiään ei kuunnella, saati toteuteta. Toisaalta ketään ei asiasta voi syyttää, sillä monesti kyse on huonoista prosesseista ja työkäytännöistä. Kuten Edwards Deming toteaa (katso luku 4.2), vika on systeemissä. Tämä taas johtaa tehottomuuteen, joten ei ihme, että haastatteluissa vedottiin usein resurssipulaan.

Tuotannon laatuongelmien ratkaisemiseksi ei ole olemassa yksinkertaista, välittömästi tuloksia tuovaa ratkaisua, sillä useimmat ongelmat ovat peräisin organisaation muilta osastoilta. Niiden korjaus edellyttää *kokonaisvaltaista ja jatkuvaa laadun parantamista* (katso luku 4.3). Seuraavaksi käsitellään hyvin lyhyesti perimmäisten juurisyiden kategorioita (katso luku 6.2.5) ja sitä, miten niihin liittyvät ongelmat ilmenevät tuotannossa. Samassa yhteydessä täytyy kuitenkin muistaa se, että työn alkuperäinen tavoite – automaatio- ja instrumentointiratkaisujen vaikutus tuotantoon – on saavutettu, joten näiden laajempien ongelmien syvälinen tarkastelu ei tämän tutkimuksen laajuudesta johtuen ole mahdollista.

7.4.1 Huonot tekniset valinnat

Huonoilla teknisillä valinnoilla tarkoitetaan sellaisia automaatio- ja instrumentointiratkaisuja, jotka aiheuttavat ongelmia tuotannossa. Niiden osuus työhön lasketuista laatu-kustannuksista oli noin 36 %. Suurin osa tämän kategorian ongelmista liittyy jo aiem-

min käsiteltyyn *erilliskaapelointiin*. Lisäksi tähän kategoriaan kuuluvat kaikki *huonot komponenttivalinnat*. Näillä tarkoitetaan esimerkiksi tilannetta, missä komponentti on ensisijaisesti valittu halvan hankintahinnan perusteella, vaikka tarjolla olisi ollut parempi, mutta hieman kalliimpi vaihtoehto. Esimerkkinä toimii analogia-anturin valinta väyläliitännäisen anturin sijasta. Äskeisellä tarkoitetaan *osaoptimointia*, joka luokiteltiin erilliseksi kategoriaksi. Sen osuus työhön lasketuista laatukustannuksista oli 11 %.

7.4.2 Yhteissuunnittelun puute ja johtaminen

Yhteissuunnittelun puutteella tarkoitetaan nimensä mukaisesti eri suunnitteluosastojen välistä heikkoa yhteistyötä. Tämän kategoria ongelmat muodostivat noin 9 % kaikista työhön lasketuista laatukustannuksista. Monet tuotannon ongelmat ovat peräisin siitä, että tietyn osaston suunnittelutyössä ei ole huomioitu sen vaikutuksia muiden osastojen suunnitteluun. Usein tuotannossa kohdattiin esimerkiksi tilanne, missä anturille suunniteltuun paikkaan ei ollut porattu sille tarkoitettuja kiinnitysreikiä, koska automaatio-suunnittelu ei ollut tehnyt yhteistyötä mekaniikkasuunnittelun kanssa. Toinen yleinen, jatkuvasti tuotantoa vaivaava ongelma oli se, että sähkökaapeleiden vetoreittejä ei ole merkitty asennuskuviin. Tämä taas johtuu siitä, että vetoreittejä ei ole alun perinkään suunniteltu yhteistyössä muiden osastojen kanssa. Yhteissuunnittelun puutteet näkyvät lukuisin eri tavoin tuotannossa ja edellä mainitut ongelmat olivat vain esimerkkejä niistä.

Yhteissuunnittelun lisääminen onnistuu muun muassa prosessimaisen ajattelutavan avulla. Tämä tarkoittaa esimerkiksi tuotekehitysprojektissa sitä, että projekti läpäisee kuva 4.1 (katso luku 4.3.1) mukaisesti funktionaalisen organisaation kaikki osastot niin, että osastojen väliset raja-aidat madaltuvat. Suunnittelun on oltava läpinäkyvää ja töitä on tehtävä yhteisen päämäärän eteen. Pienemmissä projekteissa, kuten esimerkiksi uuden tuoteominaisuuden kehittämisessä yhteistyötä voidaan lisätä siten, että työt jaetaan laiterakenteen mukaisesti, eikä eri tekniikanalojen mukaisesti. Tällöin suunnitteluun osallistuisi automaattisesti suunnittelijoita jokaiselta osastolta. Lisäksi kun yksi suunnittelija on mukana useammassa vastaavassa projektissa, muodostuisi hänellä hyvä kokonaiskuva koko laitteesta.

Johtamiseen liittyvä ongelmakenttä on niin laaja, ettei sen käsittely tämän työn kohdalla ole mahdollista. Sen aiheuttamat tuotanto-ongelmat ilmenivät muun muassa työn organisoinnissa.

7.4.3 Huonot prosessit

Myös huonoihin prosesseihin liittyvä ongelmakenttä on todella laaja. Niillä tarkoitetaan kaikkia ennalta suunniteltuja prosesseja, jotka eivät toteuta riittävän hyvin niille suunniteltua tehtävää. Esimerkkinä tästä on *alihankinnan laadunvalvonta*. Usein tuotannossa esiintyvä ongelma oli se, että tavarantoimittajan laatu ei vastannut sille asetettuja vaati-

muksia. Ongelmat näkyivät varsinkin ohjaamoissa, missä esiintyi useita pieniä, alihankkijan tekemiä virheitä. Vika on siinä prosessissa, jonka avulla alihankinnan laatua valvotaan. Toinen erittäin mittava tuotannon ongelma oli heikko dokumentoinnin taso, mitä käsiteltiin jo aiemmin luvussa 7.2. Tämänkin ongelman taustalla on *dokumentoinnin päivitykseen ja hallintaan liittyvät huonot prosessit*. Huonot prosessit muodostivat 29 % kaikista työhön lasketuista laatukustannuksista.

Prosessien kehittämisestä voitaisiin varmasti kirjoittaa useampi kuin yksi diplomityö. Ongelmana tällä hetkellä on se, että esimerkiksi tuotantoprosessin tehokkuutta ei mitata riittävän tarkasta. Yleinen sanontahan kuuluu: *sitä mitä et mittaa, et voi kehittää*. Eräs tehokas ratkaisu prosessien kehittämiseen on toimintoperusteinen kustannuslaskenta. Yksi sen suurimmista eduista on toimintoajureiden tuottama automaattinen tieto prosessien tehokkuudesta. Mittarit ovat siis ikään kuin ABC:n sisäänrakennettu ominaisuus (katso luku 3.3).

7.4.4 Puutteellinen sitoutuminen prosesseihin

Puutteellinen sitoutuminen prosesseihin on käsitteenä hyvin laaja. Tämän kategorian kustannukset näkyvät esimerkiksi sitoutumattomuutena olemassa olevaan tuotekehitysprosessiin. Haastatteluiden perusteella prosessi on kyllä olemassa, mutta sitä ei noudateta riittävän tarkasti. Tämä näkyy esimerkiksi yhteissuunnittelun puutteena, jota käsiteltiin jo aiemmin. Laajimpana ongelmana on tuotu esille järjestelmätason kehitysprosessin puuttuminen. Laitteiden järjestelmää pyritään hallinnoimaan liikaa ohjelmistojen avulla eikä mekatronisina osajärjestelminä. Tämä näkyy kaikkein selvimmin puutteellisessa sitoutumisessa CANopen hallintaprosessiin (katso luku 2.3 ja venttiilivirhettä esittävä kuva 6.12). Myös iso osa huonosta dokumentoinnista selittyy sillä, että dokumentoinnin hallintaprosessiin sitoudutaan heikosti. Syynä voi olla se, että prosessit koetaan huonoksi. Täytyy kuitenkin muistaa, että huono prosessi on aina parempi, kuin ei prosessia lainkaan.

7.4.5 Muutostenhallinta

Muutostenhallinta muodosti 3 % työhön lasketuista laatukustannuksista. Pieni osuus selittyy sillä, että sen kustannukset sisältyvät jo moneen muuhun kategoriaan. Muutostenhallinnan puutteet ilmenevät muun muassa huonona dokumentointina. Se taas aiheuttaa ongelmia alihankinnassa sekä tuotannossa. Muutostenhallinnan ongelmat ovat peräisin huonoista prosesseista ja siitä, että suunniteltuja prosesseja ei noudateta riittävän hyvin. Kuten muidenkin laajempien laatuongelmien tapauksessa, myös muutostenhallinnan käsittely ei kuulu syvällisemmin tämän tutkimuksen sisältöön. Se täytyy kuitenkin huomata, että siihen liittyvät ongelmat ovat monesti seurausta muista edellä esitetyistä laajoista laadun kehittämisen osa-alueista.

7.4.6 Laadunvalvonnan puutteet ja niiden kehittäminen

Tuotannon laadun kehittäminen painottuu tällä hetkellä ennaltaehkäisevien toimenpiteiden sijasta liikaa esiintyneiden virheiden korjauksiin. *Se ei kuitenkaan poista ongelmia pysyvästi, sillä virheet toistuvat niin kauan, kunnes niiden aiheuttajat on poistettu.* Tällä hetkellä tilanne on kuitenkin huolestuttava, sillä tuotannon laatua seurataan heikosti. Tästä on todistuksena työhön kerättyjen lautupalautteiden lukumäärien jakautuminen eri tietolähteiden välillä. Palautetta kerättiin yhteensä noin 20 laitteesta, joista kaksi valittiin tarkempaa seurantaa varten. Noin puolet tutkimukseen kerätyistä lautupalautteista on peräisin näistä kahdesta tuotannon seurantalaitteesta. Tämä osoittaa sen, että suurin osa tuotannon virheistä jää raportoimatta.

Sähkötarkastajien haastatteluiden perusteella vähäiseen palautteenantoon on olemassa kaksi syytä: ensinnäkin käytössä oleva *toiminnanohjausjärjestelmä on palautteenantokanavana monimutkainen.* Ohjelman käyttö koetaan työlääksi ja vaikeaksi. Toisekseen, kuten aiemmin on jo todettu, *virheiden raportoinnista huolimatta korjaavia toimenpiteitä ei toteuteta.* Haastatteluiden mukaan samat virheet toistuvat tuotannossa vuodesta toiseen, eikä suunnitteluosastoilla ymmärretä pienten virheiden vaikutusta tuotannon sujuvuuteen.

Asentajien mukaan suunnittelussa on totuttu pienten virheiden esiintymiseen ja siksi niitä ei mielletä enää laatuvirheiksi. Myös Ahola (2009, s. 26) päätyi tutkimuksessaan täysin vastaavaan johtopäätökseen virheiden hyväksymisestä pakolliseksi osaksi tuotantoprosessia. Tällainen ajattelutapa on kuitenkin pitkällä aikavälillä erittäin haitallista, sillä kuten Crosbyn toteaa (katso luku 4.2), yrityksen tulisi jatkuvasti pyrkiä kohti täydellistä laatua. Hänen mukaansa huonon laadun kustannukset ovat reilusti luultua suuremmat ja siksi ennaltaehkäiseviä toimintoja ei pidä ajatella kuluina, vaan pikemminkin investointeina.

Tuotannon ja suunnitteluosastojen välistä tiedonkulkua on siis jatkossa parannettava. Tämä vaatii linjan työntekijöiden motivointia lautupalautteen annossa sekä vastaavasti nopeampaa palautteisiin reagointia suunnitteluosastoilla. Vika on jälleen kerran toimintatavoissa, ei yksittäisissä ihmisissä.

7.5 Jatkotutkimuskohteita

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vain pientä osaa laitteiden elinkaaresta. Työssä keskityttiin lähes kokonaan loppukokoonpanoon, poissulkien alihankinnan, osakokoonpanojen, muiden työnvaiheiden sekä huollon toimenpiteet. Kattavamman kuvan muodostamiseksi siitä, miten ohjausjärjestelmän tekniset ratkaisut vaikuttavat laitteiden elinkaarikustannuksiin, vaatisi edellä mainittujen osa-alueiden laajaa tutkimista. *Kaikkein tärkeimpänä näistä voidaan pitää huoltoa, sillä siellä esille tulleiden ongelmien*

kustannusvaikutukset ovat kaikkein suurimmat. Jos huollosta voidaan tunnistaa kriittisimmät ongelma-alueet ja tehdä tarvittavat toimenpiteet niiden poistamiseksi, olisi tällä automaattisesti positiivisia vaikutuksia myös laitteiden tuotantoon. Kun huolto on vaivatonta, on myös kokoonpano vaivatonta. Tämä sen vuoksi, että sujuva huolto vaikeissa olosuhteissa (ahtaat tilat, heikko valaistus, puutteelliset työkalut ja logistiikka, vähemmän ammattitaitoinen huoltohenkilöstö) tarkoittaa myös vaivatonta loppukokoonpanoa ideaaliolosuhteissa (siistit sisätilat, ammattitaitoinen henkilöstö, valaistus, työkalujen saatavuus, toimiva logistiikka).

Tutkimuksen tulosten perusteella esitettiin kolme selkeää askelta, joiden avulla vallitsevien kaapelointiratkaisujen ongelmia voidaan ratkaisevasti vähentää. Jokaiselle askelelle laskettiin lisäksi niiden aikaansaamat kustannussäästöt (katso luku 7.1). Näiden toimenpiteiden käytännön toteutus vaatii kuitenkin lisätutkimusta siitä, miten kyseiset ratkaisut voidaan toteuttaa mahdollisimman sujuvasti ja pienin kustannuksin. Se on kuitenkin varmaa, että askeleiden avulla saavutetaan merkittäviä vuosia kustannussäästöjä.

Tutkimuksen tuloksista täytyy muistaa myös se, että kaikki työhön lasketut laatukustannukset liittyivät tuotannon virhetilanteisiin. Poistamalla näiden virheiden aiheuttajat, lasketut laatukustannukset häviäisivät. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että nykyisillä automaatio- ja instrumentointiratkaisuilla olisi vaikutusta ainoastaan lukuisiin virhetilanteisiin, vaan ne myös hidastavat tuotantoa, vaikka tuotanto sujuisi virheettää. Asentajien kytkentätyötä voidaan nopeuttaa huomattavasti, jos nykyiset erilliskaapeloidut liitännät korvattaisiin standardiliittimin varustetuilla kaapeleilla. Niiden avulla kaapeleiden asennus on reilusti nopeampaa, eivätkä ne vaadi ulkopuolisia työkaluja (katso luku 7.1). Standardiliittimien vaikutusta tuotannon kustannuksiin olisi syytä tutkia tarkemmin, koska niihin kohdistuva säästöpotentiaali on suuri.

Sen lisäksi, että tutkimus koski vain pientä osaa laitteiden elinkaaresta, rajattiin aihe myös ainoastaan sähkön ja automaation laatuongelmiin. Tämän lisäksi tutkimus oli kertaluontoinen projekti, joten kattavamman kuvan muodostaminen vaatisi myös muiden tekniikanalojen ja etenkin eri teknologioiden rajapintojen (mekaniikka, hydraulikka, ohjelmistokehitys) jatkuvaa seurantaa. Tämä taas edellyttäisi nykyistä tarkempaa laadunvalvontaa, jotta laatuongelmien todelliset aiheuttajat voidaan poistaa lopullisesti. Laadunvalvonnan kehittäminen vaatisi jatkotutkimusta siitä, miten tuotannon ja eri osastojen välistä tiedonkulkua voitaisiin jatkossa parantaa.

Laatupalautteiden laajan keräyksen vuoksi laitteiden tuotannosta tunnistettiin useita, laaja-alaisia ongelma-alueita. Näitä ongelmien ”perimmäisiä juurisyitä” olivat: huonot tekniset valinnat, yhteissuunnittelun puute ja johtaminen, huonot prosessit, puutteellinen sitoutuminen prosesseihin ja muutostenhallinta. Kyseiset osa-alueet ovat kuitenkin laajuudeltaan niin suuria, ettei niitä voitu käsitellä tämän tutkimuksen yhteydessä. Näihin

kohdistuva jatkotutkimus on kuitenkin erittäin tärkeää, sillä kuten aiemmin todettiin, kaikki tuotannossa esiintyvät laatu puutteet ovat seurausta näistä ongelmista.

7.6 Yhteenveto

Laatukustannuslaskennan tulosten perusteella kaikkein tärkein kehityskohde laitteiden ohjausjärjestelmissä on erilliskaapelointi. *Suurin erilliskaapeloinnin haittavaikutus on kaapeleiden asennustyössä syntyvät kytkentävirheet*, joiden osuus työhön lasketuista laatukustannuksista oli noin 43 %. Kytkeävirheet voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: sähkörasiakokoonpanojen sisäisiin ja ulkoisiin virheisiin. Tässä luvussa kehitettiin kolme kehityskaskelta, joiden avulla kaapelointia voidaan parantaa. Näiden askeleiden kustannussäästöjä on laskettu taulukkoon 7.1.

Taulukko 7.1. Arvioita kaapeloinnin kehityskaskeleiden tuomista kustannussäästöistä. (Luvut on suhteutettu ohjausjärjestelmien materiaalikulustannuksiin).

Kehityskaskeleet	Säästö yhteensä	Säästö sisäisissä kytkennöissä	Säästö ulkoisissa kytkennöissä
1. askel (vaatii investointeja)	1330 %	990 %	340 %
2. askel (ei vaadi investointeja)	1330 %	990 %	340 %
3. askel (ei vaadi investointeja)	1443 %	990 %	453 %

Ensimmäinen vaihtoehto on askeleista helpoin ja siksi myös nopein toteuttaa. Tässä ratkaisussa sähkörasioiden kyljessä olevat holkitiivisteet korvataan standardiliittimillä. Etuna on helpompi ja nopeampi kytkentätyö ja ennen kaikkea *sisäisten kytkentävirheiden poistuminen loppukokoonpanosta*. Tämä edellyttää kuitenkin mittavia investointeja sähkörasiakokoonpanojen sisäisten sähkökytkentöjen testaukseen. Varovaisen arvion mukaan *lisäksi ulkoiset kytkentävirheet vähenevät liittimien ansiosta noin yhteen neljäsosaan (75 %)*. Ensimmäisen kehityskaskeleen kustannussäästöt ovat vähintään 1330 %.

Toisessa kehityskaskeleessa sähkörasiakokoonpanot korvataan standardoiduin rajapinnoin varustetuilla liittäntäyksiköillä. Laatukustannukset vähenevät taulukon 7.1 mukaisesti saman verran kuin ensimmäisessä askeleessa, mutta etuna edelliseen vaihtoehtoon on se, että *sähkörasiakokoonpanojen poistuttua myös niihin kohdistuva testaustarve poistuu*. Tässä askeleessa sähkörasiakokoonpanojen sisäiset kytkennät poistuvat kokonaan ja ulkoisista kytkentävirheistä jää jäljelle noin yksi neljäsosa, joten *laatukustannukset vähenevät vähintään noin 1330 % eikä ylimääräisiä investointeja vaadita*. Myös materiaalikulustannukset vähenevät tutkimusosastolla tehdyn kustannuslaskentaesimerkin mukaan noin 22 % nykyiseen ratkaisuun verrattuna.

Kolmannessa kehitysaskleessa kaikki analogiset mittaukset ja -ohjaukset muutetaan väyläliitännäisiksi. *Etuna on ulkoisen kaapeloinnin väheneminen murto-osaan nykyisestä.* Erilliskaapeloinnin vähennyttyä kytkentävirheiden määrä vähenee merkittävästi ja johdotukseen liittyvä testaustarve pääosin häviää. Lisäksi ohjausjärjestelmän sisäänrakennetun virreehallinnan kattavuus ja tarkkuus paranee. *Nykyiseen ratkaisuun verrattuna vuosittaiset kustannussäästöt ovat vähintään 1443 % (katso taulukko 7.1).*

Taulukosta 7.1 nähdään, että suurimmat vuosittaisen kustannussäästöt saavutetaan kehitysaskleella kolme. Sen toteutus vaatii kuitenkin mittavia arkkitehtuuritason muutoksia. Niinpä paras ratkaisu on toteuttaa askleen kaksi toimenpiteet, sillä ensimmäiseen vaihtoehtoon verrattuna se ei vaadi ylimääräisiä investointeja testaukseen. Sen lisäksi, että erilliskaapeloinnin laatuksannukset häviävät, tuo tämä ratkaisu säästöjä myös materiaalikustannuksissa. Jos luvuissa 7.1.1–7.1.3 esitelty koripuumiesimerkki olisi yleistettävissä kaikkialle laitteiden ohjausjärjestelmään, voidaan materiaalisäästöjä arvioida seuraavalla tavalla:

Kun nykyisen sähkörasiakokoonpanon kokonaiskustannusta – sisältää materiaalit ja työn – verrataan askleen kaksi materiaalikustannuksiin, huomataan, että säästöjä syntyy noin 53 %/sähkörasiakokoonpano. Uuden ratkaisun hinta muodostuu kahdesta CANopen liitäntäyksiköstä ja yhdestä ohjelmoitavasta logiikasta. Yhdessä laitteessa sähkörasioita on keskimäärin 3 kappaletta, joten saavutetut hyödyt ovat kokonaisuudessaan merkittäviä.

Kaapelointiratkaisujen lisäksi laitteiden tuotannosta nousi esille useita muita kehityskohteita. Konkreettisia ongelman aiheuttajia olivat muun muassa *heikko dokumentoinnin taso ja komponenttien laaduttomuus*. Näiden lisäksi tuotannosta tunnistettiin laajempia, kokonaisvaltaiseen laadunkehittämiseen liittyviä ongelma-alueita. Näiden tarkempi käsittely ei kuitenkaan tämän tutkimuksen kohdalla ole mahdollista. *Tärkeimpinä kehityskohteina tunnistettiin tekniset valinnat, yhteissuunnittelu, johtaminen, prosessit, muutostenhallinta ja laadunvalvonta.*

Tämä tutkimus oli kertaluontoinen kustannuslaskentaprojekti, joka keskittyi vain pienen osaan laitteiden elinkaaresta. Kokonaisvaltaisemman kuvan muodostamiseksi automaattioratkaisujen vaikutuksesta laitteiden elinkaarikustannuksiin vaatisi jatkotutkimusta etenkin huollon osalta. Lisäksi luvussa 7.1 esitellyn kolmen kehitysaskleen käytännön toteuttaminen vaatii lisätutkimusta siitä, miten muutokset voidaan tehdä mahdollisimman sujuvasti ja minimikustannuksin. Laatu puutteiden laajempi tarkastelu vaatisi myös kokonaisvaltaisempaa laadun seurantaa. Tässä tutkimuksessa paneuduttiin ainoastaan sähkön ja automaation laatu puutteisiin, mutta jatkossa tutkimusta olisi syytä laajentaa kaikkiin tekniikan osa-alueisiin (hydrauliikka, mekaniikka, ohjelmistokehitys).

8 TUTKIMUKSEN ARVIOINTI

Tässä luvussa pohditaan sitä, kuinka hyvin tutkimukselle asetetut tavoitteet saavutettiin ja kuinka luotettaviin tuloksiin käytössä olevilla tutkimusmenetelmillä päästiin. Lisäksi tarkastellaan yleisesti työn suorituksen onnistumista sekä siihen liittyviä haasteita.

Laatukustannuksia käsittelevässä teoriaosuudessa (luku 5) todettiin laskennan olevan hyödyllistä, koska sen tuottama rahamääräinen tieto toimii ”yhteisenä kielenä” eri osastojen välillä. Päätöksenteossa ratkaisee yleensä raha ja kehityskohteet valitaan sen perusteella, minkä kohteen oletetaan tuovan eniten taloudellista hyötyä pitkällä aikavälillä. Tässä vaiheessa tutkimusta on vaikea arvioida sitä, kuinka hyvin äskeiset väitteet pitävät tämän työn kohdalla paikkaansa. Tuotannosta tunnistettiin kaikkein kriittisimmät ongelma-alueet, mutta nähtäväksi jää, toteutetaanko löydösten perusteella luvussa 7 esitetyjä toimenpiteitä, joilla tuotannon laatua voidaan parantaa pysyvästi.

Luvussa 5 käsiteltiin lisäksi kolme tunnetuinta laatukustannusten käyttäytymistä kuvaavaa teorianmallia. Tässä tutkimuksessa laskenta kohdistettiin ainoastaan yrityksen sisäisiin virhekustannuksiin, joten tutkimuksen suhdetta edellä mainittuihin laatukustannusmalleihin on vaikea arvioida. Kirjoittajan oman mielipiteen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että tutkimukseen käytetyt kulut maksavat itsensä moninkertaisena takaisin – jos työssä esitetyt parannustoimenpiteet toteutetaan. Niiden avulla tuotannon virhekustannukset vähenevät huomattavasti, joten parannustoimenpiteisiin käytettyjä resursseja ei pidä ajatella kuluina, vaan pikemminkin investointeina.

Laskennan käytännön toteutus noudatti hyvin läheisesti luvussa 5.5 läpikäytyjä asioita. Kuten teoriaosuudessa todettiin, projektin läpivieminen voi olla työlästä ja paljon aikaa vievää. Tiedon keräys ja analysointi olivat myös tämän tutkimuksen kohdalla erittäin työläitä ja siksi tutkimukselle alun perin asetettu kahdeksan kuukauden tavoiteaika ylitettiin. Jälkikäteen ajateltuna projektin aikataulua olisi kuitenkin voitu nopeuttaa huolellisemmalla suunnittelulla ennen varsinaista työn aloittamista (katso luku 5.5.1).

8.1.1 Tavoitteiden saavutus

Työssä tutkimukselle asetetut viisi päätavoitetta saavutettiin. Näitä olivat:

1. *Kerätä ja analysoida laatupalautteet tarkasteltavien laitteiden tuotannosta*

Työn rajaukset huomioon ottaen tämä vaihe saavutettiin vähintäänkin riittävän kattavasti. Tietoa kerättiin useasta tietolähteestä ja riittävän pitkältä aikaväliltä (katso luku 6.1)

2. *Selvittää tuotanto-ongelmien taustalla olevat juurisyyt*
Ongelmien juurisyyt selvitettiin asiantuntijoiden avustamana useassa työpajassa, jonka tulokseni löydettiin varsin kattava joukko erinäisiä laatuongelmia (6.2).
3. *Laskea tuotanto-ongelmien laatukustannukset*
Tämä vaihe oli huolellisen juurisyyanalyysin jälkeen vaivatonta. Laatukustannukset saatiin kertomalla laatupuutteiden häiriöajat tuotannon tuntikustannuksilla (katso luku 6.3).
4. *Tutkia, kuinka eri instrumentointiratkaisut vaikuttavat tuotannon kustannuksiin.*
Juurisyyanalyysin seurauksena huomattiin, että väylätekniikka ei itsessään aiheuttanut lainkaan tuotannon laatukustannuksia, vaan suurin syy tuotannon ongelmiin oli pikemminkin huonot toimintatavat ja huonot kaapelointiratkaisut.
5. *Osoittaa tärkeimmät parannuskohteet*
Tärkeimmät parannusehdotukset nimettiin laatukustannuslaskennan tulosten perusteella luvussa 7.1. Lisäksi laajempia, kokonaisvaltaisen laadunkehityksen alueita pohdittiin luvussa 7.4. Luvussa 7.5 tuotiin esille myös tämän tutkimuksen jälkeisiä jatkotutkimusehdotuksia.

Näistä tavoitteista kaikkein haastavin oli tuotanto-ongelmien taustalla olevien juurisyiden selvittäminen. Kirjoittajan oma kokemattomuus laitteiden automaatio ja sähköjärjestelmistä vaikeutti laatupalautteiden ymmärtämistä ja etenkin syy-seuraus-suhteiden muodostamista. Analysointia helpotti kuitenkin merkittävästi kokeneiden linjatyöntekijöiden ja tutkijoiden tietämys.

8.1.2 Tutkimuksen haasteet

Usein laskentatoimea käsittelevässä kirjallisuudessa mainitaan kustannuslaskentaan liittyvät laajuus-, arvostus-, jakamis- ja mittaamisongelmat. Samoihin ongelmiin törmättiin myös tämän tutkimuksen aikana. Ensimmäinen oli mittaamisongelma: laskennan kannalta riittävän yksityiskohtaista tietoa ei ollut saatavilla. Työn alkuperäinen suunnitelma oli ratkaista tutkimusongelma toimintoperusteisen kustannuslaskennan avulla. Nopeasti työn alettua kuitenkin huomattiin, että tuotantoprosessi oli jaettu hyvin karkealla tasolla eri vaiheisiin, eikä tarkkaa toimintojakoa ollut saatavilla. Tutkimuksen resursseista johtuen toimintoanalyysiä ei voitu suorittaa puhdasoppisesti, joten ongelmaa jouduttiin lähestymään laajemmin.

Toimintolaskennan tueksi otettiin laatukustannuslaskenta, missä tuotannon ongelma-alueita tuodaan esille rahamääräisenä tietona. Se, että automaattioratkaisujen vaikutusta tuotantoon voitiin tutkia, edellytti hyvin laajaa tiedon keräystä. Laatupalautetta kerättiin useasta eri tietolähteestä, yhteensä noin 20 laitteesta. Työpajoissa tehdyn juurisyy-analyysin seurauksena tuotannosta tunnistettiin automaatio-ongelmien lisäksi useita muita ongelma-alueita, jotka jaoteltiin sopiviin kategorioihin (katso luvut 6.2.4 ja 6.2.5). Laatutiedon keräyksen yhteydessä törmättiin perinteiseen laatukustannuslaskennan ongelmaan: käytössä olevat laskentajärjestelmät eivät tukeneet riittävästi kustannusten laskentaa, jonka vuoksi tiedon keruu ja analysointi olivat erittäin työläitä ja siksi aikaa vieviä. Tiedon keruun lisäksi ongelmia tuotti sen tarkkuus: tietojärjestelmiin kirjattuihin laatupalautteisiin ei ollut merkitty niiden korjaamiseen kulunutta häiriöaikaa, joten se jouduttiin arvioimaan työpajojen yhteydessä.

Tutkimuksessa kohdattiin myös klassinen kustannuslaskennan laajuusongelma: yksiselitteistä vastausta sille, mihin osastoihin ja tuotantoprosessin osiin laskennan olisi pitänyt ylettyä, oli vaikea antaa. Myös laatutiedon jaottelu eri kategorioiden välillä koettiin ajoittain haasteelliseksi. Aina ei voitu tarkasti määritellä mihin kategoriaan tietty ongelma tulisi sijoittaa, koska monesti sama laatukustannus liittyi moneen eri kategoriaan. Tämäkin on yleisesti tunnettu, laatukustannusten laskentaan liittyvä ongelma (katso luku 5.2). Jaottelu tehtiin kuitenkin aina kriittisimmän tekijän perusteella.

Laatutiedon keräyksen ja analysoinnin jälkeen kustannusten laskenta oli vaivatonta. Tuotannon kustannukset muodostuivat kahdesta osasta, joista toinen on työvoiman kustannus ja toinen yleiskustannuslisä. Toimintoperusteista kustannuslaskentaa käsittelevässä kirjallisuudessa perinteistä kustannuslaskentaa ja varsinkin yleiskustannuslisien oikeellisuutta kritisoidaan voimakkaasti. Tämän tutkimuksen laajuus ei kuitenkaan riitä arvioimaan sitä, miten oikeudenmukaisesti eri kustannuseriä on vyörytetty yleiskustannuspaikoille. Toisaalta tällä ei ole suurta merkitystä tutkimusten tulosten kannalta: absoluuttisesti oikeiden rahamäärien sijasta tärkeintä oli tuottaa hyödyllistä tietoa virhekustannusten suuruusluokasta kehityskohteiden valintaa varten. Työn tuloksista voidaan kuitenkin huomata, että kustannuslaskennassa on keskitytty liiaksi komponenttien hankintakustannuksiin ilman laajempaa tarkastelua instrumentointiratkaisujen kokonaisvaltaisista kustannusvaikutuksista.

Luvussa 3 käsiteltiin sitä, kuinka toimintolaskennan avulla kustannuksia voidaan kohdistaa laskentakohteille lisäyslaskentaan verrattuna oikeudenmukaisemmin. Toimintoperusteisen kustannuslaskennan käyttöönotto toisi varmasti paljon hyötyjä, mutta todellisuudessa laskentamallin rakennus ja päivitys tuo mukanaan myös ongelmia. Näistä tärkeimpänä voidaan mainita tiedon keräykseen ja prosessointiin vaadittavat resurssit. Mallin rakennus ja päivittäminen ovat usein erittäin työläitä ja siksi laskenta voi aiheuttaa suuria kustannuksia (katso luku 3.4). Arvioitaessa sitä, tulisiko kustannuksia laskea

toimintoperusteisesti, täytyy siis myös verrata laskennan tuomia hyötyjä siihen, miten suuria investointeja sen toteuttaminen vaatii.

8.1.3 Tulosten luotettavuus

Heikosta laadunvalvonnasta johtuen laatupalautetta oli saatavilla niukasti. Osassa palautteista ei myöskään ollut laatukustannusten laskentaa varten välttämättömiä häiriöai-koja eikä riittävän tarkkaa ongelmakuvausta, joten tästä syystä kriittinen lukija voi arvostella tutkimustulosten luotettavuutta. Kysymys kuuluu siis, oliko tutkimusotos tarpeeksi laaja ja ovatko arvioidut häiriöajat luotettavia? Otoksen suuruus oli tutkimuksen suorittajan mielestä riittävä kustannusten suuruusluokan selvittämiseksi: kuten aiemmin todettiin, palautteita kerättiin yhteensä noin 20 laitteesta aikaväliltä joulukuu 2009–huhtikuu 2011. Lisäksi otosta laajennettiin tuotannon seurantalaitteilla, missä häiriöajat merkittiin noin viiden minuutin tarkkuudella. Muista tietolähteistä kerättyjen laatupalautteiden häiriöajat arvioitiin työpajojen yhteydessä. Arvioita voidaan kuitenkin pitää suhteellisen luotettavina, koska työpajoihin valittiin ainoastaan kokeneita asentajia, jotka tunsivat kyseiset ongelmatilanteet entuudestaan hyvin.

Tulosten oikeellisuutta tukevat vahvasti myös aiemmin tehdyt tutkimukset. Ahola (2009) päätyi lähes identtiseen tulokseen sähkökaapeleiden kytkentävirheiden haitallisuudesta. Toisaalta tiedon niukkuudesta johtuen voidaan olla varma siitä, että *todellinen laatukustannusten suuruus on reilusti tämän työn tuloksia suurempi*.

Vuosittaiset laatukustannukset laskettiin tuotannon seurantakoneiden perusteella. Jälleen kerran tuloksia voidaan kritisoida sillä, että voidaanko yksittäisten laitteiden perusteella tehdä yleistyksiä koko vuoden ajalle? Kysymys on aiheellinen, mutta tulosten luotettavuutta puolustavat asentajien haastattelut: niissä todettiin, että kyseinen laite edusti varsin tavallista yksilöä ja että siinä esiintyvät virheet eivät olleet epätavallisia, vaan monet niistä toistuvat kaikkialla tuotannossa. Karkea yleistys on tästä syystä perusteltua ja jopa yleistettävissä tarkasteltavien tuoteperheiden ulkopuolelle.

LÄHTEET

- Ahola, P. 2009. Production Testing of Distributed Control Systems in Mobile Mining Machines. Master of Science Thesis. Tampere. Tampere University of Technology, Master's Degree Program in Automation Technology. 73 p.
- Alasuutari, P. 1999. Laadullinen tutkimus. 3. uudistettu painos. Tampere, Vastapaino. 317 s.*
- Alhola, K. 1998. Toimintolaskenta. Porvoo; Helsinki; Juva, WSOY. 131 s.
- Atkinson, H., Hamburg, J., Ittner, C. 1994. Linking Quality to Profits. Milwaukee, ASQC Quality Press. 405 p.*
- Atkinson, A. A., Kaplan, S. R., Matsmura, M. E., Young, S. M. 2007. Management Accounting. New Jersey, Pearson Prentice Hall. 656 p.
- Baines, A. 1992. Activity-Based Costing. Work Study 41, 2, pp. 12 -13.*
- Brimson, J. A. 1991. Toimintolaskenta: Activity-Based Accounting. Veijo Riistamaa ja Kari Lydman (suom.). Helsinki, Wilin+Göös. 288 s.
- CiA Draft Recommendation 303-1. 2004. CANopen – Cabling and connector pin assignment. Germany, CAN in Automation. 25 p.*
- CiA Draft Standard 304. 2005. CANopen – Framework for Safety-Relevant Communication. Germany, CAN in Automation. 24 p.
- CiA Draft Standard 306. 2005. CANopen – Electronic Data Sheet Specification for CANopen. Germany, CAN in Automation. 30 p.*
- CiA Draft Standard 401. 2008. CANopen – Device Profile for Generic I/O Modules. Nuremberg, Germany, CAN in Automation. 139 p.
- CiA Draft Standard 404. 2002. CANopen – Device Profile Measuring Devices and Closed Loop Controllers. Germany, CAN in Automation. 174 p.*
- CiA Draft Standard 406. 2003. CANopen - Device Profile for Encoders. Germany, CAN in Automation. 78 p.
- CiA Draft Standard 408. 2005. CANopen – Device Profile Fluid Power Technology Proportional Valves and Hydrostatic Stansmission. Germany, CAN in Automation. 394 p.*
- CiA Draft Standard Proposal 301. 2007. CANopen – Application Layer and Communication Profile. Germany, CAN in Automation. 150 p.
- CiA Draft Standard Proposal 302. 2009. CANopen – Application Layer Functions, Part 1: General definitons. Germany, CAN in Automation. 6 p.*
- CiA Draft Standard Proposal 307. 2004. CANopen – Framework for Maritime Electronics. Germany, CAN in Automation. 37 p.
- CiA Draft Standard Proposal 402. 2005. CANopen – Device Profile Drives and Motion Control. Germany, CAN in Automation. 199 p.*
- CiA Draft Standard Proposal 417-1. 2010. CANopen – Application Profile for Lift Control Systems, Part 1: General definitions. Germany, CAN in Automation. 15 p.
- CiA Draft Standard Proposal 422. 2010. CANopen – Application Profile for Municipal Vehicles. Germany, CAN in Automation. 14 p.*

- CiA Draft Standard Proposal 425. 2007. CANopen – Application Profile for Medical Diagnostic Add-On Modules. Germany, CAN in Automation. 10 p.
- CiA Draft Standard Proposal 447. 2008. CANopen – Application Profile for Special-Purpose Car Add-On Devices. Germany, CAN in Automation. 29 p.*
- CiA Work Draft 305. 2008. CANopen – Layer Setting Services (LSS) and Protocols. Germany, CAN in Automation. 34 p.
- CiA Work Draft 421. 2008. CANopen – Application Profile for Train Vehicle Control Networks. Germany, CAN in Automation. 30 p.*
- Cooper, R. 1989. You Need a New Cost System When... Harvard Business Review, January–February, pp. 77–88.
- Cooper, R., Kaplan, R. S. 1991. Profit Priorities from Activity-Based Costing. Harvard Business Review, May–June, pp. 130–135.*
- Crosby, P., B. 1996. Quality is still free: making quality certain in uncertain times. New York, MacGraw-Hill. 264 p.
- Dale, B. 1994. Managing Quality. 2nd ed. Herfordshire, Prentice Hall International Limited. 611 p.*
- Dale, B. G., Plunkett, J. J. 1999. Quality Costing. 3rd ed. Englant, Gower Publishing Limited. 281 p.
- Deming, W. E. 2000. Out Of Crisis. Cambridge, MIT Press. 489 p.*
- De Vaus, D. A. 2001. Research design in social research. London, Sage. 279 p.
- Diallo, A., Khan, Z., U., Fail, C., F. 1995. Cost of Quality in the New Manufacturing Environment. Management Accounting 77, 2, August, pp. 20–25.*
- Einistö, p. 2011. Prosessit toteuttajina [luentokalvot]. Tampereen teknillinen yliopisto, Teollisuustalouden laitos. [viitattu 7.7.2011]. Saatavissa: https://moodle.tut.fi/file.php/1904/Prosessit_toteuttajina_2011.pdf
- Eskola, J., Suoranta J. 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. 3. painos. Tampere, Vastapaino. 268 s.*
- Feigenbaum, A., V. 1956. Total Quality Control. Harvard Business Review, 34, 6, November–December, pp. 9 –101.
- Feigenbaum, A., V. 1991. Total Quality Control. 3rd ed. New York, McGraw-Hill Inc. 863 p.*
- Gryna, F. 2001. Quality Planning and Analysis. 4th ed. Singapore, McGraw-Hill/Irwin. 730 p.
- Harrington, H., J. 1991. Business process improvement: the breakthrough strategy for total quality, productivity and competitiveness. San Jose, The International Quality Advisor Ernst & Young, MCGraw-Hill Inc. 274 p.*
- Hirsjärvi, S., Hurme, H. 2008. Tutkimushaastattelu. Helsinki, Gaudeamus Helsinki University Press. 213 s.
- Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. 13. osin uudistettu painos. Helsinki, Tammi. 448 s.*

- Ishikawa, K. 1991. *Introduction to Quality Control*. 3rd ed. Tokyo, JUSE Press Ltd. 435 p.
- ISO-11898-1. 2003. *Road vehicles – Controller area network (CAN) –, Part 1: Data link layer and physical signaling*. Switzerland, ISO. 45 p.
- ISO-11898-2. 2003. *Road vehicles – Controller area network (CAN) –, Part 2: High-Speed Medium Access Unit*. Switzerland, ISO. 21 p.
- Ittner, C. D. 1994. *Exploratory Evidence on the Behavior of the Quality Cost*. *Operations Research*, Jan–Feb, 44, 1, pp. 114–130.
- Johnson, H. T., Kaplan, R.S. 1991. *Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting*. Boston, Harvard Business School Press. 269 p.
- Jong No, J., Kleiner, B. H. 1997. *How to Implement Activity-Based Costing*. *Logistic Information Management* 10, 2, pp. 69–72.
- Juran, J. M., Gryna, F. M., Bingham, R. S. 1974. *Quality Control Handbook*. 3rd ed. New York, McGraw-Hill. 1755 p.
- Järvinen, P., Lemetti, P., Virtanen, T. 2001. *Laatukustannuslaskenta: käyttötarkoitus ja menetelmät*. Espoo, Tutkimuslaitos. 134 s.
- Kaplan, R. S. 1988. One Cost System Isn't Enough. *Harvard Business Review*, January–February, pp. 61–66.
- Kaplan, R. S., Cooper, R. 1998. *Cost & Effect: Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance*. Boston, Harvard Business School Press. 357 p.
- Koskinen, I., Alasuutari, P., Peltonen, T. 2005. *Laadulliset menetelmät kauppatieteissä*. Tampere, Vastapaino. 350 s.
- Laatu käsitteenä [luentokalvot]*. 2011. *Tampereen teknillinen yliopisto, Teollisuustalouden laitos*. [viitattu 17.7.2011]. Saatavissa: https://moodle.tut.fi/file.php/1904/Laatu_kaesitteena_2011.pdf
- Lecklin, O. 1999. *Laatu yrityksen menestystekijänä*. 3. uudistettu painos. Jyväskylä, Gummerus Kirjapaino Oy. 442 s.
- Lecklin, O. 2006. *Laatu yrityksen menestystekijänä*. 5. uudistettu painos. Karisto Oy, Talentum. 408 s.
- Lillrank, P. 1990. *Laatua: johdatus Japanin talouselämään laatujohtamisen näkökulmasta*. Helsinki, Gaudeamus. 277 s.
- Lumijärvi, O-P., Kiiskinen S., Särkilahti, T. 1995. *Toimintolaskenta käytännössä: toimintolaskenta johtamisen apuvälineenä*. 2. Painos. Espoo, Weilin + Göös. 123 s.
- Neilimo, K., Uusi-Rauva, E. 2005. *Johdon laskentatoimi*. 6. - 9.painos. Helsinki, Edita Prima Oy. 366 s.
- Oakland, J., S., Porter L., J. 1995. *Total Quality Management – Text with Cases*. Butterworth Heinmann, Oxford.
- Ohno, T. 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Cambridge, Productivity Press. 143 p.
- Ojala, L., Hilmla, O. 2003. *Case study research in logistics*. Turku, Turun kauppakorkeakoulu. 190 s.

- Reeves, Carol A., Bednar, David A. 1994. Defining Quality: Alternatives and Implications. *Academy of Management Review*, Jul, 19, 3, pp. 419–445.
- Roth, H. P., Albright, T. L. 1994. *What Are the Cost of Variability. Management Accounting*, June 75, 12, pp. 51–55.
- Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, A. 2009. *Research Methods for Business Students*. 5th ed. Harlow, Prentice Hall. 614 p.
- Schneiderman, A. M. 1986. *Optimum Quality Costs and Zero Defects: Are They Contradictory Concepts? Quality Progress*, Nov, 19, 11. p. 28
- Seppänen, M., Lyly-Yrjänä, J., Jämsen, M., Kulmala, H. I., Lahikainen, T., Paranko, J. 2002. Kannattavuuden jäljillä: Yritysverkoston kustannuslaskenta ja sen kehittäminen. Helsinki, Metalliteollisuuden kustannus, MET julkaisuja – 1/2002. 84 s.
- Shepherd, N. 2002. *Integrating cost of quality into performance improvement plans. How to align and integrate with a balanced scorecard. Quality Congress. (Abi-inform Global)*. pp. 337–342.
- Silen, T. 1998. *Laatujohtaminen: menetelmiä kilpailukyvyn parantamiseksi*. Helsinki; Porvoo; Juva, WSOY. 157 s.
- Stevenson, Williams, J. 2009. *Operations Management*. 10th ed. Boston, McGraw-Hill/Irwin cop. 906 p.
- Summers, D. C. S. 2005. *Quality Management: Creating and Sustaining Organizational Effectiveness*. New Jersey, Pearson Prentice Hall. 409 p.
- Taguchi, G., Clausing, D. 1990. *Robust Quality. Harvard Business Review*, Jan–Feb, 68, 1, pp. 65–75.
- Turney, P. B.B. 1994. Toimintolaskenta: toimintolaskennan käänteentekevät suoritukset: avain tuottavampaan toimintaan [suomentaneet Maija Lehmusvirta ja Teemu Malmi]. Helsinki, Tietosanoma. 305 s.
- Uusi-Rauva, E., Paranko, J., Viloma, H. 1994. *Toimintoperusteinen kustannuslaskenta - Activity-Based Costing. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Teollisuustalous*. 105 s.
- Uusi-Rauva, E., Paranko, J. 1998. Kustannuslaskenta ja tuotekehityksen tarpeet. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Teollisuustalous. 113 s.
- Virtanen, E. 2010. *Ohjaamokokoonpanon kehittäminen. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Tuotantotekniikan koulutusohjelma*. 77 s.
- Virtanen, I. 2008. Mukautettu CANopen vaatimustenmukaisuustestaus. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Automaatiotekniikan koulutusohjelma. 63 s.

LIITTEET

Liite 1: Laitteen A tuotantoprosessi (ei voida julkaista)

Liite 2: Linjan A laatuongelmat virhekoodien mukaisesti.

Virhekoodi	Selitys	Häiriöiden lkm	Häiriöaika	Kustannusten osuus kaikista kustannuksista
310	Sähkö - Väärä komponentti	6	9:30:00	5%
320	Sähkö - Virheellinen komponentti	6	6:00:00	3%
330	Sähkö - Löysä liitos	0	0:00:00	0%
340	Sähkö - Väärä kytkentä	36	89:20:00	47%
350	Sähkö - Virheellinen säätöarvo	0	0:00:00	0%
360	Sähkö - Suojavirhe	1	0:45:00	0%
390	Sähkö - Asennusvirhe	9	12:15:00	6%
410	Automaatio - Väärä komponentti	1	1:00:00	1%
420	Automaatio - Virheellinen komponentti	0	0:00:00	0%
430	Automaatio - Löysä liitos	0	0:00:00	0%
440	Automaatio - Väärä kytkentä	1	1:00:00	1%
450	Automaatio - Virheellinen säätöarvo	0	0:00:00	0%
460	Automaatio - Suojausvirhe	0	0:00:00	0%
480	Automaatio - Väärä ohjelmisto	0	0:00:00	0%
640	Dokumentointi - Kuvat ja osaluettelot	15	17:55:00	9%
	Muut ongelmat	19	54:15:00	28%
Yhteensä		94	192:00:00	100%

Liite 3: Linjan B laatuongelmat virhekoodien mukaisesti.

Virhekoodi	Selitys	Häiriöiden lkm	Häiriöaika	Kustannusten osuus kaikista kustannuksista
310	Sähkö - Väärä komponentti	2	4:00:00	3%
320	Sähkö - Virheellinen komponentti	3	4:35:00	3%
330	Sähkö - Löysä liitos	0	0:00:00	0%
340	Sähkö - Väärä kytkentä	16	53:11:00	39%
350	Sähkö - Virheellinen säätöarvo	0	0:00:00	0%
360	Sähkö - Suojavirhe	0	0:00:00	0%
390	Sähkö - Asennusvirhe	9	29:55:00	22%
410	Automaatio - Väärä komponentti	1	1:30:00	1%
420	Automaatio - Virheellinen komponentti	2	1:00:00	1%
430	Automaatio - Löysä liitos	0	0:00:00	0%
440	Automaatio - Väärä kytkentä	0	0:00:00	0%
450	Automaatio - Virheellinen säätöarvo	2	4:10:00	3%
460	Automaatio - Suojausvirhe	0	0:00:00	0%
480	Automaatio - Väärä ohjelmisto	0	0:00:00	0%
640	Dokumentointi - Kuvat ja osaluettelot	4	0:36:00	0.44%
	Muut ongelmat	28	37:35:00	28%
Yhteensä		67	136:32:00	100%

Liite 4: Väyläongelmat tarkasteltavien laitteiden prototyyppien kehityksen ajalta.

Ongelma	Selitys	Häiriöaika
Komponenttivirheet		
Vaijeritoiminen lineaarianturi	Tiedonsiirtonopeus toleranssien ulkopuolella.	15h
Absoluuttianturit	Ryömintävika.	100h
Pulttausnivelen absoluuttianturi (resolveri)	Nivelen puutteellinen tiivistys ja anturin puutteellinen koteloointi.	5×8–16h
Puomin nivelten absoluuttianturit (resolverit)	Jousivoima/ruuviliittimet resolveissa	4×8h
Venttiiliongelmät	Katso kuva 6.12	katso teksti
Ylipitkät väylät	Väylien pituus yli käytetyn siirtonopeuden mukaisen maksimipituuden	2×8–16h
Väylien virheellinen rakenne	Kytkeä riviliittimien läpi ja ylipitkiä kytkentähaaroja sähkörasioissa	25 koteloa×2–4h
Konfiguraatioiden hallinnan puutteet		37–74h (ainoastaan tietyt prototyyppit)